

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

«__» _____ 2020 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Інформаційно-комунікаційні
технології»
зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему: «Метод проектування структури сенсорної мережі, побудованої з
використанням бездротових систем»

Виконав:

студент II курсу, групи ПІ-91мп

Савостін Роман Олексійович _____

Керівник:

Доцент кафедри ІТМ ІТС, доцент, к.т.н.

Правило Валерій Володимирович _____

Рецензент:

Доцент кафедри ТК ІТС, доцент, к.т.н.

Явіся Валерій Сергійович _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інформаційно-комунікаційні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Савостіну Роману Олексійовичу

1. Тема дисертації «Метод проектування структури сенсорної мережі, побудованої з використанням бездротових систем», науковий керівник дисертації доцент кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж ІТС Правило Валерій Володимирович, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «03» листопада 2020 р. № 3208-с.
2. Термін подання студентом дисертації 10.12.2020 р.
3. Об'єкт дослідження: Процес проектування структури бездротової сенсорної мережі.
4. Предмет дослідження: Метод проектування структури бездротової сенсорної мережі.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 1. Провести аналіз існуючих стандартів передачі даних та існуючих кластерних архітектур.
 2. Провести моделювання з урахуванням різних алгоритмів кластеризації.

3. Проаналізувати отримані дані та зробити висновки, який з алгоритмів є найбільш ефективним в різних випадках.
 4. Запропонувати вдосконалений метод проектування структури сенсорної мережі який підвищить енергоефективність..
 5. Дослідити можливість застосування запропонованого методу експериментально шляхом моделювання.
6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу
1. Тема, мета, актуальність, задачі дослідження.
 2. Аналіз існуючих алгоритмів які використовуються в бездротових сенсорних мережах.
 3. Запропонувати метод проектування структури бездротової сенсорної мережі.
 4. Результати експерименту та моделювання роботи запропонованого методу.
 5. Опис запропонованого підходу як стартап-проекту.
 6. Загальні висновки.
7. Орієнтовний перелік публікацій
9. Дата видачі завдання 01.09.2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вступ	20.09. – 29.09.2020	виконано
2	Аналіз стандартів передачі даних	29.09 – 09.10.2020	виконано
3	Опис існуючої кластерної архітектури	09.10 – 25.10.2020	виконано
4	Моделювання з урахуванням алгоритмів	25.10 – 31.10.2020	виконано
5	Аналіз методів кластеризації	31.10 – 07.11.2020	виконано
6	Розробка та тестування нового методу	07.10 – 25.11.2020	виконано
7	Розробка стартап проекту	25.11 – 28.11.2020	виконано
8	Висновки	28.11 – 06.12.2020	виконано

Студент

Науковий керівник дисертації

Роман САВОСТІН

Валерій ПРАВИЛО

РЕФЕРАТ

Робота містить 91 сторінку, 32 рисунка та 23 таблиці. Було використано 25 джерел.

Актуальність роботи: бездротові сенсорні мережі (БСС, Wireless Sensor Networks), що складаються з бездротових сенсорів і керуючих пристроїв і здатні до самоорганізації за допомогою інтелектуальних алгоритмів, демонструють масштабні перспективи використання для контролю здоров'я людини, стану навколишнього середовища, функціонування виробничих і транспортних систем, обліку різних ресурсів і ін.

Метою роботи є дослідження сенсорних бездротових мереж, їх стандартів, архітектури, алгоритмів вибору головного вузла. На основі отриманих даних, розробка вдосконаленого методу проектування бездротової сенсорної мережі.

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз існуючих стандартів передачі даних та існуючих кластерних архітектур.
2. Провести моделювання з урахуванням різних алгоритмів кластеризації.
3. Проаналізувати отримані дані та зробити висновки, який з алгоритмів є найбільш ефективним в різних випадках.
4. Запропонувати вдосконалений метод проектування структури сенсорної мережі який підвищить енергоефективність.
5. Дослідити можливість застосування запропонованого методу експериментально та шляхом імітаційного моделювання.
6. Розробити рекомендації щодо використання розробленого методу у якості готового продукту та виведення його на ринок шляхом розробки стартап-проекту.

В даній роботі розглядаються бездротові сенсорні мережі різних типів, їх класифікація та призначення, принципи їх побудови, необхідні умови для

повноцінного функціонування мережі. Визначення факторів, які впливають на енергоефективність системи. Для досягнення поставленої мети був проведений аналіз існуючих алгоритмів маршрутизації та вибору головного вузла кластера в бездротових сенсорних мережах; оцінка і порівняльний аналіз алгоритмів прямої передачі DT і кластеризації LEACH, SEP, TEEN, DEEC в сенсорних мережах.

Отримані результати дозволять ефективно вибирати алгоритми вибору головного вузла і схеми розміщення сенсорних вузлів, а найголовніше на основі отриманих даних був розроблений і протестований новий більш енергоефективний метод проектування бездротової сенсорної мережі. **Об'єкт дослідження:** процес проектування структури бездротової сенсорної мережі

Предмет дослідження: метод проектування структури бездротової сенсорної мережі.

Методи дослідження: Основними методами дослідження є математичне та імітаційне моделювання.

Ключові слова: Сенсорна бездротова мережа, архітектура бездротової мережі, алгоритми вибору головного вузла, кластерна архітектура, метод проектування структури бездротової сенсорної мережі.

ABSTRACT

The work contains 91 pages, 32 figures and 23 tables. 25 sources were used.

The **actuality of the work**: Wireless Sensor Networks (BSS), consisting of wireless sensors and control devices and capable of self-organization using intelligent algorithms, demonstrate large-scale prospects for use to control human health, the environment, the functioning of industrial and transport systems, accounting for various resources, etc.

The **aim of the work** is to study sensor wireless networks, their standards, architecture, algorithms for selecting the main node. Based on the obtained data, development of a new method of designing a wireless sensor network.

Research objectives:

1. Analyze existing data transmission standards and existing cluster architectures
2. Carry out modeling taking into account different clustering algorithms
3. Analyze the data obtained and draw conclusions about which of the algorithms is most effective in different cases
4. To offer own method of designing of structure of a sensory network which will increase energy efficiency and productivity
5. Investigate the possibility of applying the proposed method experimentally and by simulation
6. Develop recommendations for the use of the developed method as a finished product and bring it to market by developing a startup project

This paper considers wireless sensor networks of different types, their classification and purpose, the principles of their construction, the necessary conditions for the proper functioning of the network. Identification of factors that affect the energy efficiency of the system. To achieve this goal, an analysis of existing routing algorithms and selection of the main node of the cluster in wireless sensor

networks; evaluation and comparative analysis of algorithms for direct transmission of DT and clustering of LEACH, SEP, TEEN, DEEC in sensor networks.

The obtained results will allow to effectively choose the algorithms for selecting the main node and the layout of the sensor nodes.

Based on the obtained data, a new more energy-efficient method of designing a wireless sensor network was developed and tested.

Object of research: the process of designing the structure of a wireless sensor network

Subject of research: method of designing the structure of a wireless sensor network.

Research methods: The main research methods are mathematical and simulation modeling.

Keywords: Sensor wireless network, wireless network architecture, main node selection algorithms, cluster architecture, method of designing the structure of a wireless sensor network.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ABSTRACT	6
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1	12
СТАНДАРТИ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ.	12
1.1 Історія створення бездротових сенсорних мереж	12
1.2 Бездротові сенсорні мережі і стандарти	14
1.2.1 Стандарт Wi-Fi	15
1.2.2 Стандарт WiMAX	17
1.2.3 Стандарт Bluetooth	19
1.2.4 Стандарт HomeRF	19
1.2.5 Стандарт ZigBee	20
Висновки	22
РОЗДІЛ 2.	23
КЛАСИФІКАЦІЯ БСМ ТА КЛАСТЕРНА АРХІТЕКТУРА.	23
2.1. Класифікація бездротових сенсорних мереж.....	23
2.2. Кластерна архітектура	27
Висновки	30
РОЗДІЛ 3	31
ОЦІНКА І ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВИБОРУ ГОЛОВНОГО ВУЗЛА ДЛЯ ГОМОГЕННИХ І ГЕТЕРОГЕННИХ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ.....	31
3.1. Огляд досліджень бездротових сенсорних мереж.....	31
3.1.1 Алгоритм адаптивної кластеризації LEACH	32
3.1.2 Алгоритм TEEN	37
3.1.3 Алгоритм SEP.....	39
3.2. Експеримент	41
3.2.1 Перший сценарій.....	43
3.2.2 Другий сценарій	48

3.2.3. Третій сценарій	52
Висновки	54
РОЗДІЛ 4	56
РОЗРОБКА ВДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРИ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ.....	56
4.1 leach (low energy adaptive clustering hierarchy)	58
4.2. Модель споживання радіоенергії	59
4.3 Запропонований протокол	60
4.3.1. Фаза настройки.....	61
4.3.2. Стійка фаза	62
4.4. Результат і аналіз.....	63
Висновки	69
РОЗДІЛ 5	70
РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	70
5.1 Опис ідеї проекту	70
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	72
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	73
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	82
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	85
Висновки	86
Загальні висновки по роботі	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

BCM	Бездротова сенсорна мережа
SOSUS	Sound Surveillance System
NOAA	National Oceanographic and Atmospheric Administration
AWACS	Airborne Warning and Control System
DSN	Distributed Sensor Networks
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
SSID	Service Set Identifier
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
SWAP	Standard Wireless Access Protocol
LEACH	Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy
SEP	Stable Election Protocol
DEEC	Distributed Energy Efficient Clustering
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
SGSN	Study Group on Sensor Networks
RSS	Received Signal Strength
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
TEEN	Threshold-sensitive Energy Efficient Protocol
WLAN	Wireless Local Area Network
QoS	Quality of Service

ВСТУП

Бездротові сенсорні мережі являють собою системи автоматизації та управління, моніторингу та контролю.

Взаємодіючи з керуючими пристроями, датчики створюють розподілену систему збору, обробки і передачі інформації. Поняття «Самоорганізована мережа» визначається як система, в якій пристрої «вміють» самі знаходити один одного і формувати мережу, а в разі виходу з ладу будь-якого з вузлів можуть встановлювати нові маршрути для передачі повідомлень.

Технологія сенсорних мереж не вимагає для побудови мережі дорогих кабелів разом з допоміжним обладнанням (кабельними каналами, клемами, шафами і т.д.). А так як сенсорна мережа підтримує основні інтерфейси і протоколи, які застосовуються в даний час, є можливість інтегрувати її в існуючу мережу без проведення масштабної реконструкції.

Мініатюрні датчики забезпечують можливість їх розміщення в важкодоступних місцях і на великих територіях. Бездротові рішення незамінні, коли необхідно пов'язати в мережу постійно рухомі або часто переміщувані вузли. Однак же недоліком бездротових рішень виявляється їх менша надійність, як в сенсі гарантованої доставки даних за обмежений час, так і в сенсі захисту переданої інформації від несанкціонованого доступу.

Розробка і введення сенсорних мереж в усі сфери життя надасть величезну кількість переваг людству.

Мета даної дипломної роботи полягає в дослідженні стандартів, вивченні архітектури, порівняльному аналізі алгоритмів кластеризації і вибору головного вузла в кластері в бездротових сенсорних мережах.

А головна мета даної роботи розробити новий розробка нового методу проектування бездротової сенсорної мережі з ієрархічної кластеризацією з більш ефективним енергозбереженням.

РОЗДІЛ 1

СТАНДАРТИ БЕЗДРотовИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ.

1.1 Історія створення бездротових сенсорних мереж

Історія створення сенсорних мереж налічує понад чотири десятки років. Перші роботи над сенсорами і сенсорними мережами були ініційовані в оборонному секторі США. Як і у випадку з іншими технологіями, в тому числі і телекомунікаційними. Подібні роботи проводилися і в СРСР, проте до цих пір відкрита інформація про це відсутня.

На початку 50-х років з метою виявлення і спостереження за малошумними підводними човнами була розроблена і розгорнута система спостереження SOSUS, яка складається з набору акустичних сенсорів (гідрофонів), розміщених на дні океану. Пізніше система SOSUS була переорієнтована на цивільний сектор і досі використовується національною океанографічною і атмосферною адміністрацією NOAA для моніторингу, наприклад, сейсмічної активності.

В оборонному комплексі під час холодної війни був також розроблений протиповітряний комплекс захисту континентальної частини територій США. Особливістю цього комплексу, було використання аеростатів в якості точок здійснення контролю і збору інформації, що дозволяє дивитись на нього як на прототип сенсорної мережі. Пізніше ця система була доповнена літаками повітряного попередження і управління AWACS.

Ці дві військові системи служать хорошим прикладом побудови сенсорних мереж на дуже ранній стадії їх розвитку, коли мова про підвищення ефективності, оптимізації, автономії і зниженні вартості ще не йшла, а людина грала одну з головних ролей в процесі роботи цих систем -

саме на людину покладалася відповідальність за функціонування, надійність, аналіз даних і т.п.

Роботи над сенсорними мережами в сучасному понятті почалися ще в 1980 р. дослідженнями в програмі «Розподілені сенсорні мережі» DSN, ініційованої оборонним агентством по сучасним дослідницьким проектам DARPA. Мережа Інтернет, розроблена також в рамках агентства DARPA, до цього моменту вже успішно функціонувала протягом декількох років і об'єднувала понад 200 комп'ютерів в університетах і науково-дослідних центрах та інститутах США. Розробниками мережі Інтернет в рамках проекту DSN були застосовані зусилля по реалізації принципів пакетної комутації і стека протоколів TCP / IP в розподілених мережах, що складаються з простих пристроїв, пізніше названих сенсорами. Апаратна база для реалізації сенсорних мереж в той час була досить слабкою, і число вже розроблених технологій, які могли б бути застосовані, було сильно обмежена - модеми функціонували на швидкості 9600 бод, а технологія Ethernet тільки виходила на ринок.

У зв'язку з цим учасники проекту DSN були змушені як визначати концепцію сенсорів і сенсорних мереж, так і безпосередньо здійснювати технічну розробку. Для підтримки проекту DSN агентство DARPA зі свого боку здійснювало керівництво проектом, в зв'язку з чим до цього проекту були також залучені експерти з штучного інтелекту. Серед пріоритетних областей досліджень, з точки зору проекту DSN, були визначені розподілені обчислення, обробка сигналів і передача даних через бездротовий інтерфейс.

У першій половині 80-х був створений ряд тестових сенсорних мереж, серед яких можна відзначити наступні:

- тестова сенсорна мережа під керуванням операційної системи Accent, Carnegie Mellon University (США), 1981 м

- тестова акустична сенсорна мережа для спостереження за маршрутами вертольотів, Massachusetts Institute of Technology (MIT) (США), 1984 м[7]
- тестова сенсорна мережа, ускладнена алгоритмами розподілених обчислень, Advanced Decision Systems (США), 1986 м

Будь-яка технологія приносить успіх і, відповідно, виправдовує капіталовкладення і приносить прибуток лише при виході на загальнодоступний ринок. Вихід сенсорних мереж на ринок в тій концепції, в якій вони були визначені в 80-х роках, ще 7 - 8 років тому був неможливий. Останні кілька років стали вирішальними для сенсорних мереж - з'явилися технології, що дозволяють виробляти сенсори досить малого розміру, оснащені достатньою кількістю процесорної потужності та пам'яті.

Оптимізація як різних алгоритмів і протоколів, так і архітектурних рішень апаратної частини сенсора дозволили істотно знизити обсяг споживаної енергії і добитися безперервного функціонування сенсора без зміни джерела живлення на термін більше ніж 1 - 2 роки.

1.2 Бездротові сенсорні мережі і стандарти

Бездротові сенсорні мережі (БСМ) - це одне з найбільш перспективних напрямків у розвитку телекомунікаційних систем реального часу які створюють нові можливості для проведення наукових досліджень. Мініатюрні розміри вузлів (плата розміром з один кубічний дюйм), інтегрований радіоінтерфейс, низьке споживання енергії, досить невисока вартість роблять цю мережу дуже вигідною для використання в тих областях життєдіяльності, де необхідно провести побудову системи контролю і управління або стежити за безпекою. Бездротова сенсорна мережа необхідна в першу чергу в таких областях, де взагалі неможлива прокладка кабелів з технічних, економічних або організаційних причин.

Безліч стандартів передачі даних такі як Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, HomeRF, ZigBee і так далі ділять між собою діапазон 2,4 ГГц,

1.2.1 Стандарт Wi-Fi

Wi-Fi - торгова марка Wi-Fi Alliance для бездротових мереж на базі стандарту IEEE 802.11. Ноутбук або комунікатор без підключення до мережі Інтернет сьогодні є практично марним шматком «заліза». Завдяки широкому використанню Wi-Fi для вирішення проблеми підключення до Інтернету цей термін став добре відомим. Незважаючи на те, що спочатку в деяких прес-релізах WECA фігурувало словосполучення Wireless Fidelity, на даний момент від такого формулювання відмовилися, і термін Wi-Fi ніяк не розшифровується. Продукти, що призначалися спочатку для систем касового обслуговування, були виведені на ринок під маркою WaveLAN і забезпечували швидкість передачі даних від 1 до 2 Мбіт/с.

Творець Wi-Fi - Вік Хейз (Vic Hayes) знаходився в команді, що брала участь в розробці таких стандартів, як IEEE 802.11b, IEEE 802.11a і IEEE 802.11g. Зазвичай схема мережі Wi-Fi містить не менше однієї точки доступу і не менше одного клієнта.

Також можливе підключення двох клієнтів в режимі точка-точка (Ad-hoc), коли точка доступу не використовується, а клієнти з'єднуються за допомогою мережевих адаптерів безпосередньо. Точка доступу передає свій ідентифікатор мережі (SSID) за допомогою спеціальних сигнальних пакетів на швидкості 0,1 Мбіт / с кожні 100 мс. Тому 0,1 Мбіт / с - найменша швидкість передачі даних для Wi-Fi. Знаючи SSID мережі, клієнт може з'ясувати, чи можливе підключення до даної точки доступу.

При попаданні в зону дії двох точок доступу з ідентичними SSID приймач може вибирати між ними на підставі даних про рівень сигналу.

Стандарт Wi-Fi дає клієнтові повну свободу при виборі критеріїв для з'єднання. Пристрої Wi-Fi широко поширені на сучасному ринку. Сумісність

устаткування гарантується завдяки обов'язковій його сертифікації з логотипом Wi-Fi. Випромінювання від Wi-Fi – пристроїв в момент передачі даних на два порядки (в 100 разів) менше, ніж від стільникового телефону. Технологія дозволяє розгорнути мережу без прокладки кабелю, що може зменшити вартість розгортання і / або розширення мережі. Місця, де не можна прокласти кабель, наприклад, поза приміщеннями і в будівлях, що мають історичну цінність, можуть обслуговуватися бездротовими мережами.

Технологія дозволяє мобільним пристроям мати доступ до мережі. Стандарт шифрування WEP може бути відносно легко зламаний навіть при правильній конфігурації (через слабку стійкість алгоритму). Незважаючи на те, що нові пристрої підтримують досконаліший протокол шифрування даних WPA і WPA2, багато старих точки доступу не підтримують його і вимагають заміни. Прийняття стандарту IEEE 802.11i (WPA2) в червні 2004 року зробило доступною більш ефективну схему аутентифікації і шифрування, яка застосовується в новому обладнанні. Для реалізації протоколів WPA і WPA2 потрібно більше надійний пароль, ніж той, який зазвичай призначається користувачем. Стандарт IEEE 802.11 визначає два режими роботи мережі - Ad-hoc і інфраструктурний ESS - Extended Service Set. Режим Ad-hoc (інакше званий «точка-точка») - це проста мережу, в якій зв'язок між станціями (клієнтами) встановлюється безпосередньо, без використання спеціальної точки доступу. У режимі інфраструктурний ESS бездротова мережа складається, як мінімум, з однієї точки доступу, підключеної до провідної мережі, і деякого набору бездротових клієнтських станцій. Для організації бездротової мережі в замкнутому просторі застосовуються передавачі зі всіспрямованими антенами. Слід мати в увазі, що через стіни з великим вмістом металевої арматури (в залізобетонних будівлях такими є несучі стіни) радіохвилі діапазону 2,4 ГГц іноді можуть взагалі не проходити, тому в кімнатах, розділених подібної стіною, доведеться ставити свої точки доступу.

Потужність, яку випромінює передавачем точки доступу або ж клієнтської станції, що працює за стандартом IEEE 802.11, не перевищує 0,1 Вт, але багато виробників бездротових точок доступу обмежують потужність лише програмним шляхом, і досить просто підняти потужність до 0,2 ... 0,5 Вт. Для порівняння - потужність, яку випромінює мобільним телефоном, на порядок більше (в момент дзвінка - до 2 Вт). Оскільки, на відміну від мобільного телефону, елементи мережі розташовані далеко від голови, в цілому можна вважати, що бездротові комп'ютерні мережі більш безпечні з точки зору здоров'я, ніж мобільні телефони. Продукти для бездротових мереж, що відповідають стандарту IEEE 802.11, пропонують чотири рівні засобів безпеки: фізичний, ідентифікатор набору служб SSID, ідентифікатор управління доступом до середовища і шифрування. Багато організацій використовують додаткове шифрування (наприклад, VPN) для захисту від вторгнення.

1.2.2 Стандарт WiMAX

WiMAX Стандарт IEEE 802.16 — стандарт безпроводного зв'язку, що забезпечує ширококутний зв'язок на значні відстані зі швидкістю, порівняною з кабельними з'єднаннями.

Назву «WiMAX» було створено WiMAX Forum — організацією, яку засновано в червні 2001 року з метою просування і розвитку WiMAX. Форум описує WiMAX як «засновану на стандарті технологію, яка надає високошвидкісний бездротовий доступ до мережі, альтернативній виділені лініям і DSL».

WiMAX підходить для вирішення завдань з'єднання точок доступу Wi-Fi один з одним і іншими сегментами Інтернету, а також для забезпечення бездротового та ширококутного доступу. WiMAX дозволяє здійснювати доступ в Інтернет з набагато більшим покриттям, ніж у Wi-Fi - мереж. Це

дозволяє використовувати цю технологію в якості магістральних каналів, продовженням яких виступають традиційні виділені і локальні мережі. Цей підхід дозволяє створювати масштабовані високошвидкісні мережі в рамках різних міст.

WiMAX являє собою систему далекої дії, що покриває кілометри простору, яка використовує ліцензовані спектри частот (можливо і використання неліцензованих частот) для надання з'єднання з інтернетом типу точка-точка провайдером користувачеві. Різні стандарти сімейства 802.16 забезпечують різні види доступу, від мобільного (схожий з передачею даних у мобільних телефонів) до фіксованого (альтернатива провідного доступу, при якому бездротове обладнання користувача прив'язане до місця розташування).

Зазвичай WiMAX мережі у загальному вигляді складаються з наступних основних частин: базових і абонентських станцій, обладнання, що зв'язує базові станції між собою, з постачальником сервісів та з Інтернетом. Структура мереж сімейства стандартів IEEE 802.16 дуже схожа з традиційними GSM-мережами.

Слід пам'ятати, що технологія WiMAX застосовується як на "останній милі" - кінцевій ділянці між провайдером і користувачем, - так і для надання доступу регіональним мережам: офісним, районним. Між сусідніми базовими станціями встановлюється постійне з'єднання з використанням надвисокої частоти 10-66 ГГц радіозв'язку прямої видимості. Дане з'єднання в ідеальних умовах дозволяє передавати дані зі швидкістю до 120 Мбіт / с. Обмеження по умові прямої видимості, зрозуміло, не є перевагою, проте воно накладається тільки на базові станції, що беруть участь в цілісному покритті району, що цілком можливо реалізувати при розміщенні обладнання. Як мінімум одна з базових станцій може бути постійно пов'язана з мережею провайдера через широкосмугове швидкісне з'єднання. Фактично, чим більше станцій мають доступ до мережі провайдера, тим вища швидкість і надійність передачі даних.

1.2.3 Стандарт Bluetooth

Bluetooth забезпечує обмін інформацією між такими пристроями як персональні комп'ютери (настільні, кишенькові, ноутбуки), мобільні телефони, принтери, цифрові фотоапарати, мишки, клавіатури, джойстики, навушники, гарнітури на надійній, недорогій, повсюдно доступній радіочастоті для ближнього зв'язку. Бездротовий канал дозволяє цим пристроям повідомлятися, коли вони знаходяться в радіусі від 1 до 200 м один від одного (дальність сильно залежить від перешкод і перешкод), навіть у різних приміщеннях.

Варто відзначити, що компанія AIRcable випустила Bluetooth-адаптер Host XR з радіусом дії близько 30 км. Для спільної роботи Bluetooth-пристроїв необхідно, щоб всі вони підтримували загальний профіль. Профіль - набір функцій або можливостей, доступних для певного пристрою Bluetooth.

Технологія Bluetooth спирається на неліцензованому частотний діапазон 2,4 ... 2,4835 ГГц. При цьому використовуються широкі захисні смуги: нижня межа частотного діапазону становить 2 ГГц, а верхня - 3,5 ГГц. Частота (положення центру спектра) задається з точністю ± 75 кГц. Дрейф частоти в цей інтервал не входить. Кодування сигналу здійснюється за дворівневою схемою GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying). Логічного 0 і 1 відповідають дві різні частоти. В обумовленої частотній смузі виділяється 79 радіоканалів по 1 МГц кожен.

1.2.4 Стандарт HomeRF

HomeRF - бездротова технологія, спеціально орієнтована на мережі, створювані в домашніх умовах. Головна ідея HomeRF полягає в тому, що у домашніх користувачів потреби зовсім відмінні від потреб корпоративних користувачів. Це означає, що і рішення, які для них потрібні, спеціально для них і розроблені.

HomeRF прагне працювати в цій ніші ринку, поставляючи пристрої, які досить легко встановлюються, прості у використанні і більш доступні, ніж сучасні бездротові рішення масштабу підприємства.

HomeRF заснований на декількох існуючих стандартах передачі голосу і даних і об'єднує їх в єдине рішення. Воно працює в смузі частот ISM 2,4 ГГц з використанням FHSS. Скачки по частотах відбуваються зі швидкістю від 50 до 100 разів на секунду. Позбавлення від інтерференції відбувається за допомогою рознесення сигналів за часом і частоті. HomeRF використовує радіопередавачі низької потужності, які подібні до тих, що використовуються в персональних бездротових мережах стандарту 802.15 на основі технології Bluetooth.

Різниця між двома технологіями полягає в тому, що HomeRF орієнтована тільки на ринок домашніх користувачів, включаючи SWAP, який в рамках HomeRF дає можливість більш ефективно обробляти мультимедіадодатки. Передавачі діють на відстані 40-50 м від базової станції і можуть бути вбудовані в картки типу Compact Flash.

1.2.5 Стандарт ZigBee

ZigBee - назва набору мережевих протоколів верхнього рівня, які використовують маленькі, малопотужні радіопередавачі, засновані на стандарті IEEE 802.15.4. Цей стандарт описує бездротові персональні обчислювальні мережі (WPAN). ZigBee націлена на додатки, яким потрібен тривалий час автономної роботи від батарей і висока безпека передачі даних при невеликих швидкостях їх передачі. Основна особливість технології ZigBee полягає в тому, що вона при відносно невисокому енергоспоживанні підтримує НЕ тільки прості топології бездротової зв'язку («Точка-точка» і «Зірка»), а й складні бездротові мережі з комірчастою топологією з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень. Області застосування даної технології - це побудова бездротових мереж датчиків, автоматизація житлових і споруджуваних приміщень, створення індивідуального діагностичного

медичного обладнання, системи промислового моніторингу та управління, а також при розробці побутової електроніки і персональних комп'ютерів.

Ім'я бренду походить від поведінки медових бджіл, після повернення їх у вулик. Мережі, утворені за протоколом ZigBee почали розглядатися з 1998, коли виникла необхідність в самоорганізованих системах зв'язку. ZigBee націлений на додатки, яким потрібен тривалий час автономної роботи від батарей і висока безпека передачі даних, при невеликих швидкостях передачі. ZigBee працює в промислових, наукових і медичних (ISM- діапазон) радіодіапазоні: 868 МГц в Європі, 915 МГц в США і в Австралії, і 2,4 ГГц в більшості країн в світі (під більшістю юрисдикцій країн світу). Так як ZigBee-пристрій більшу частину часу перебуває в сплячому режимі, рівень споживання енергії може бути дуже низьким, завдяки чому досягається тривала робота від батарей. ZigBee-пристрій може активуватися (тобто переходити від сплячого режиму до активного) за 15 мс або менше, затримка його відгуку може бути дуже малою, особливо в порівнянні з Bluetooth, для якого затримка, що утворюється при переході від сплячого режиму до активного, зазвичай досягає трьох секунд. Беручи до уваги такі критерії, як ціна чіпів, дешевизна і швидкість освоєння технології, низьке енергоспоживання і стійкість перед перешкодами, можна сказати, що ZigBee нерідко є зараз кращим вибором.

Чіпи для реалізації ZigBee випускають такі відомі фірми, як Texas Instruments, Freescale, Atmel, STMicroelectronics, OKI і т.д. Це гарантує низькі ціни на комплектуючі для даної технології. ZigBee - це технологія, що заповнює нішу низькошвидкісних бездротових мереж з низьким енергоспоживанням, призначених для систем управління з великою кількістю вузлів, таких як системи освітлення в будівлях, системи спостереження за парком промислового обладнання і т.д. В даний час досить доступними є модулі ZigBee: ETRX2, ETRX3, випущені фірмою Telegesis. Для ознайомлення з ними існують стартові набори, що включають в себе модуль координатор, який має USB-роз'єм, і три

інших модуля, які можна налаштувати на роботу роутера або кінцевого пристрою, що займає датчиками температури і освітленості, тестовими кнопками і т.п. Наведемо порівняльну таблицю основних стандартів (таблиця 1.1)

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика стандартів бездротових мереж.

Стандарт	ZigBee (IEEE 802.15.4)	Wi-Fi (IEEE 802.11b)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)
Частотний діапазон	2,4-2483 ГГц	2,4-2,483 ГГц	2,4-2,483 ГГц
Пропускна здатність кбіт/с	250	11000	723,1
Розмір стека протокола, кбайт	32-64	Более 1000	более 250
Час неперервної роботи від батареї, дні	100-1000	0,5-5	1-10
Максимальна кількість вузлів в мережі	65536	10	7
Діапазон дії, м	10-100	20-300	10-100
Область використання	Дистанційний моніторинг та керування	Передача мультимедійної інформації	Заміщення проводного з'єднання

ВИСНОВКИ

В даному розділі розглянуті стандарти передачі даних в бездротових сенсорних мережах. Було розглянуті такі стандарти: Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, ZigBee, їх характеристики та особливості. Проведено і представлено в таблиці 1.1 порівняння стандартів. З таблиці 1.1 бачимо, що оптимальним є стандарт ZigBee.

РОЗДІЛ 2.

КЛАСИФІКАЦІЯ БСМ ТА КЛАСТЕРНА АРХІТЕКТУРА.

2.1. Класифікація бездротових сенсорних мереж.

Стандартизацією сенсорних мереж займаються багато міжнародних організації, серед яких ISO, IEC, IEEE і ін. Так дослідницька група по сенсорним мереж SGSN (Study Group on Sensor Networks) визначила базову архітектуру сенсорної мережі і її основні інтерфейси (рис. 2.1).

Як видно з рисунка, сенсорний вузол складається з:

- апаратного забезпечення;
- базового програмного забезпечення;
- прикладного програмного забезпечення.

У складі архітектури визначені чотири базових інтерфейси:

а) інтерфейс між базовим і прикладним програмним забезпеченням сенсорного вузла.

б) інтерфейс між базовим програмним забезпеченням і апаратним забезпеченням сенсорного вузла (сенсори, актуатори і / або комунікаційний вузол і т.д.).

в) бездротові або провідні інтерфейси між вузлами в сенсорній мережі.

г) інтерфейс між сенсорною мережею і зовнішнім середовищем (провайдери послуг, користувачі).

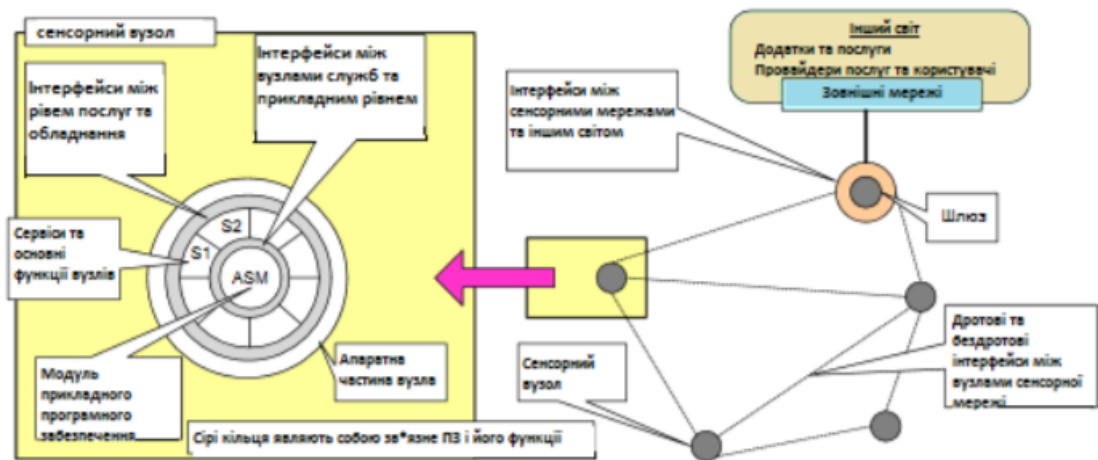


Рис. 2.1 Основні елементи і інтерфейси сенсорної мережі.

Бездротові сенсорні мережі можуть бути класифіковані на основі різних концепцій в залежності від типу вузлів в мережі або в залежності від навколишнього середовища, в якому вони розгорнуті, а також в залежності від методу розгортання або в залежності від розташування вузлів в мережі і т.д. Виділимо деякі принципи для подальшої розробки алгоритмів вибору головного вузла характеристики БСМ.

Статичність і Мобільність

Потреба в моніторингу людей, тварин і речей в цілому викликає необхідність застосування мобільних вузлів в БСМ. Сенсорні вузли, які використовуються в бездротових сенсорних мережах, можуть бути стаціонарними або мобільними. При цьому мобільні сенсорні вузли можуть переміщатися з місця на місце, через що зв'язок між двома вузлами в сенсорній мережі з мобільними вузлами може бути дуже складним.

Проактивні і реактивні БСМ

На основі способу функціонування та цільового застосування сенсорних мереж вони можуть бути класифіковані на проактивні і реактивні БСМ. У проактивного БСМ сенсорні вузли в мережі періодично перевіряють середу і передають дані, що представляють інтерес для БСМ. У реактивних БСМ вузли оперативно реагують на раптові і різкі зміни в області сенсорного поля.

БСМ можуть бути класифіковані залежно від структури мережі на однорангові і ієрархічні. У тимчасовій мережі всі вузли виконують однакові завдання і передача даних на шлюз або базову станцію здійснюється безпосередньо. В ієрархічних мережах вузли поділяються на головні і сенсорні вузли. Сенсорні вузли збирають дані, а головні займаються їх обробкою, аналізом і передачею на шлюз або БМ (рис. 2.2).

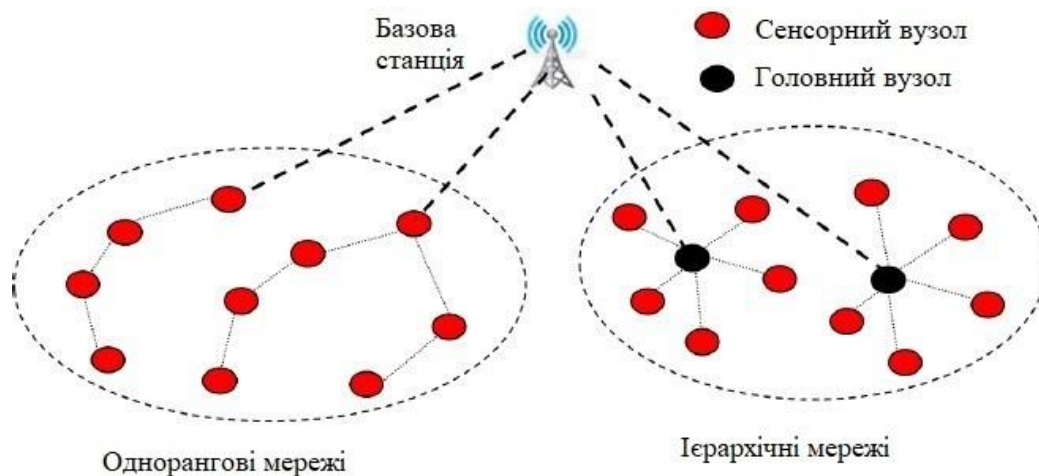


Рис.2.2. Класифікація БСМ в залежності від структури мережі.

Двовимірні і тривимірні бездротові сенсорні мережі

БСМ можуть бути також класифіковані на двовимірні і тривимірні бездротові сенсорні мережі, дивлячись на те, що більшість існуючих робіт в області бездротових сенсорних мереж в даний час присвячені двовимірному простору, насправді такі мережі працюють в тривимірному просторі, особливо з урахуванням появи нових додатків, таких як літаючі сенсорні мережі.

Випадкове і детерміноване розміщення сенсорних вузлів

БСМ можуть бути класифіковані залежно від способу розміщення сенсорних вузлів. При випадковому розміщенні сенсорні вузли можуть бути випадковим чином розкидані по деякій області. Детерміноване розміщення передбачає розміщення вузлів відповідно до попереднього плану побудови

мережі. Природно, що алгоритми розподілу даних між сенсорними вузлами в першому і другому випадку можуть бути істотно різні.

Гомогенні і Гетерогенні БСМ

Сенсорні мережі можуть бути розділені на два основних типи гомогенні (однорідні) і гетерогенні БСМ (неоднорідні) в залежності від складову їх вузлів. В однорідних бездротових сенсорних мережах всі сенсорні вузли однакові з точки зору енергії батареї і апаратної складності. Гетерогенні ж сенсорні мережі можуть містити два, три або більше типів вузлів, відповідно з різними енергетичними і функціональними можливостями.

Типи гетерогенних ресурсів

Є три найпоширеніші види неоднорідності ресурсів в сенсорних вузлах: обчислювальна неоднорідність, неоднорідність мережевих можливостей і неоднорідність енергії.

Обчислювальна неоднорідність означає, що гетерогенний вузол має більш потужний процесор і більше пам'яті, ніж типовий сенсорний вузол. За допомогою більш потужних обчислювальних ресурсів вузли можуть забезпечити комплексну обробку даних і їх довгострокове зберігання.

Неоднорідність мережевих можливостей означає, що гетерогенний вузол має більш високу пропускну здатність і більш потужний передавач, ніж типовий вузол. Такі гетерогенні вузли можуть забезпечити більш надійну передачу даних, ніж типові.

Неоднорідність енергії означає, що для гетерогенного сенсорного вузла існує можливість або постійного електроживлення від мережі, або можливість заміни батареї або акумулятора протягом терміну служби сенсорного вузла.

Вплив неоднорідності сенсорних вузлів на БСМ

Розміщення кількох різнорідних вузлів в сенсорній мережі може принести ряд переваг.

Зменшення затримки передачі даних. Обчислювальна неоднорідність

може зменшити затримку обробки інформації для найближчих вузлів, а неоднорідність мережевих можливостей - зменшити тривалість очікування в черзі для передачі інформації.

Збільшення тривалості життєвого циклу мережі. Середня витрата енергії для передачі пакета від звичайних вузлів в БС в гетерогенних сенсорних мережах буде набагато менше енергії, споживаної в однорідних сенсорних мережах.

Підвищення надійності передачі даних. Використання в гетерогенній БСМ сенсорних вузлів з високою пропускнуою здатністю і більш потужними радіопередавачем може підвищити надійність передачі даних.

2.2. Кластерна архітектура

Сенсорна мережа являє собою порівняно велику кількість бездротових сенсорів, розподілених в деякій області з досить високою щільністю. В області покриття радіосигналу кожного з сенсорів повинен знаходитися як мінімум ще один сенсор, в цьому випадку сенсор буде називатися сусіднім. Чим більше «сусідів» у кожного з сенсорів, тим більш високою точністю і надійністю володіє сенсорна мережа - очевидно, що окремий сенсор має обмежену область сприйняття, обчислювальну потужність, пам'ять і харчування. Технології радіодоступу, що застосовуються в сенсорах і засновані на стандарті IEEE 802.15.4, дозволяють передавати дані на відстань до декількох десятків метрів

Природно, що чим вище кількість сусідніх сенсорів у кожного з сенсорів, тим більш високою точністю і надійністю володіє сенсорна мережа - в зв'язку з цим передбачається, що в деякому просторі, де побудована сенсорна мережа, сенсори будуть розподілені з досить високою щільністю і, відповідно, у великій кількості. Ця мережа, як правило, має приєднання до мережі зв'язку загального користування для передачі отриманих даних. Приєднання здійснюється за допомогою деякого шлюзу, який може також реалізовувати функції захисту.

Відзначимо, що шлюз зазвичай не є сенсором, а являє собою більш стабільний мережевий вузол (з точки зору джерела живлення і ресурсів). Дані можуть передаватися як для обробки на сервери, так і прямо зацікавленим користувачам. Очевидно, що сенсорна мережа, що складається з великої кількості сенсорів, повинна бути структурована, тому що великий обсяг інформації, що передається може знизити надійність тих вузлів, які знаходяться в безпосередній близькості до шлюзу - постійна передача транзитних даних може привести до виходу з ладу джерела живлення, а великий обсяг трафіку - переповнити буфери прийому. Кластерна організація є масштабованою і вважається ефективною для вирішення подібних завдань (рис 2.3), але лише за умови раціонального вибору головного вузла в кластерній мережі і в потрібний момент часу.

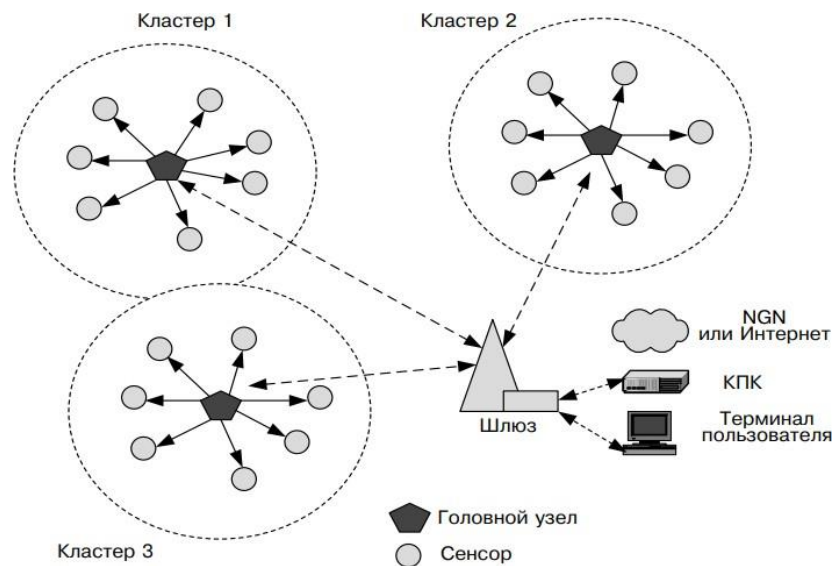


Рис.2.3. Кластерна архітектура.

Дійсно, головним є момент часу t_1 коли сенсорний вузол не обов'язково повинен бути їм же в інший момент часу, так як існуючий головний вузол вже може витратити чималу кількість енергії на передачу повідомлень від усіх сенсорних вузлів кластера до моменту t_2 . Тому, в момент часу t_2 головним вузлом в кластері може бути призначений і інший сенсорний вузол, що зберіг до

цього часу найбільший енергетичний запас. Це забезпечує алгоритм вибору головного вузла.

Алгоритм вибору передбачає найбільш імовірний вибір сенсорного вузла на роль головного на початку функціонування сенсорної мережі, а згодом ротацію на основі енергетичних характеристик інших сенсорних вузлів. Подібне рішення, природно, збільшує тривалість функціонування сенсорних вузлів і мережі в цілому.

Однак з розвитком сенсорних мереж з'явилися й інші завдання, що вимагають пильної уваги. Наприклад, завдання про якість обслуговування, яке є найважливішою метрикою для будь-якої мережі, в тому числі і сенсорної. Дійсно, дуже важлива проблема збільшення терміну життя сенсорної мережі. Однак якщо ця мережа не буде виконувати свої функції в необхідному обсязі, то і сама задача збільшення терміну життя сенсорної мережі, що не задовольняє вимогам до якості обслуговування, марна.

У системах моніторингу одним з найважливіших вимог є безперервність, тобто забезпечення моніторингу параметрів на всьому просторі або на протязі всього процесу. Виходячи зі сказаного, необхідно розробити такий алгоритм вибору головного вузла кластера, який забезпечував би краще покриття заданої для моніторингу області двовимірного простору (площини) протягом досить тривалого періоду часу. Цей підхід означає як оптимізацію терміну життя сенсорної мережі, так і оптимізацію виконання сенсорної мережею своїх функціональних завдань із заданою якістю обслуговування протягом досить тривалого періоду часу.

Одним з найважливіших параметрів при побудові сенсорних мереж є споживання енергії. Сенсорний вузол в силу свого розміру може бути обладнаний джерелом живлення з порівняно невеликим ресурсом. У певних додатках сенсорних мереж, наприклад, для рішення тактичних задач в

тилу ворога, сенсорний вузол є не обслуговуваним пристроєм, і заміна джерела живлення є неможливою.

З огляду на те, що сенсорний вузол може виконувати роль як терміналу, так і транзитного вузла, збільшення терміну дії джерела живлення є одним із пріоритетних завдань, яке вирішується не тільки шляхом збільшення часу життя джерела живлення, але і шляхом ефективного його використання. З огляду на відоме класичне співвідношення споживання енергії мобільним вузлом, що говорить про те, що співвідношення споживання енергії при «передачі; прийомі; режимі очікування; сплячому режимі» представляється співвідношенням «13: 9: 7: 1», посилена увага приділяється зниженню часу передачі і прийому інформації та підвищенню частки часу, коли сенсор знаходиться в режимі або сплячому режимі. Це необхідно враховувати при розробці алгоритмів маршрутизації.

ВИСНОВКИ

В даному розділі було розглянуто бездротові сенсорні мережі, їх види, класифікація, особливості. Більш детально розглянуті гетерогенні БСМ. Проаналізована кластерна архітектура бездротових сенсорних мереж. Стає зрозуміло, що алгоритм вибору головного вузла кластера є одним з найважливіших факторів в побудові архітектури БСМ.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА І ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВИБОРУ ГОЛОВНОГО ВУЗЛА ДЛЯ ГОМОГЕННИХ І ГЕТЕРОГЕННИХ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ.

3.1. Огляд досліджень бездротових сенсорних мереж.

Сенсорні вузли БСМ досить часто можуть функціонувати в умовах, коли відсутність гарантованого електропроводу або навіть заміни батареї сенсорного вузла. Тому важливою характеристикою БСМ є залишкова енергія .

У розділі проводиться оцінка і порівняльний аналіз широко використовуваних при побудові БСМ алгоритмів маршрутизації та самоорганізації для бездротових стаціонарних сіток зі стаціонарними вузами на площині. Порівняння алгоритмів здійснюється в середовищі моделей MATLAB.

В якості показників для порівняння використовуються тривалість стабільного періоду функціонування сенсорної мережі, залишається енергія, тривалість періодів часу до виходу зі строю першого і останнього сенсорних вузлів. Аналізувати алгоритм прямих передач DT і найбільш відомі алгоритми кластеризації LEACH, SEP, DEEC і TEEN. Порівняння алгоритмів виробляється для гомогенної, дворівневої і багаторівневої гетерогенних сенсорних мереж.

У ієрархічних алгоритмах маршрутизації вузли самоорганізуються в кластери і головний вузол вибирається для кожного кластера. Головні вузли здійснюють збір даних з вузлів - членів кластера, виробляють їх обробку та передавання інформації на шлюз або базову станцію. Таке агрегування даних у головних вузлах значно знижує енерговикористання в мережі і збільшує

тривалість життєвого циклу. Головним питанням розробки алгоритмів для ієрархічних бездротових сенсорних мереж є вибір головного вузла кластера. Існує два способи вибору головного вузла кластера: вибір випадкового головного вузла або вибір запобіжного головного вузла. Розглянемо далі алгоритми випадкового вибору головного вузла. Випадковий вибір головних вузлів приводить до створення кластерів різних розмірів. В ієрархічних алгоритмах маршрутизації і самоорганізації, що відбувається з членів кластера, може бути проведена головна зустріч. т.д.

3.1.1 Алгоритм адаптивної кластеризації LEACH

Протокол з контролем топології та кластеризації з низьким рівнем потреби. Підходить для мереж з ієрархічною структурою. Протокол є самоорганізованим і адаптованим під різні стани мережі для розподілу енергії по мережі [5]. Вузли покладаються однородними і мають обмежений запас енергії. У мережі є базова станція, і всі вони знають про її фізичний стан. Вузли динамічно об'єднані в кластери, які мають вибір головного вузла (кластера), для запобігання виникненню енергії. Протокол включає в себе агрегованість даних і скорочення витрат енергії в 8 разів.

Робота LEACH розподілена на раунди. З таких раундів стоїть з фактів і стаціонарних фаз. У фазі налаштування виробляється вибір головних вузлів і об'єднання їх з сусідніми пристроями. Рішення про вибір приймається незалежним чином. Прийняття рішення про вибір головного вузла приймається на випадковій основі з допомогою наступного алгоритму.

Кожному з n вузлів присвоюється випадкове значення N від 0 до 1. За представленою нижче формулою розраховується значення порога $T(n)$.

$$T(n) = \frac{P}{1 - P \cdot (r \bmod P^{-1})}, \quad \forall n \in G \quad T(n) = 0, \forall n \notin G$$

де r - номер поточного раунда;

P - вірогідність вибору головного вузла;

n - вказівник на поточний вузол.

G – кількість вузлів, які не були головними вузлами в останніх $1 / P$ раундах.

Якщо $N < T(n)$, то вузол стає головним кластером. Такий алгоритм гарантує, що кожен з них буде вилучений головним вузлом тільки одного разу в теперішній час.

Вузли, які були головні в нульовому раунді, не можуть бути їми знову, ще $1 / P$ раундів. Після цього всі вузли можуть бути головним вузлом. В стаціонарній фазі данні передаються базовій станції. Для порівняння з фазою налаштування, стаціонарна фаза більш тривала для того, щоб мінімізувати витрати енергії.

В протоколі використовується CSMA - протокол MAS-рівня, в якому кожен з них перевіряє відсутність передачі іншими вузлами, до початку передачі на транспортний рівень.

Критичним параметром мережі є відсоток вузлів, які є головним вузлом кластера. У випадку середнього і великого відсотків, і якщо відстань до головного вузла більша, ніж між вузлами і стоком, то витрачається більше енергії. Оптимально вважається 5% головних вузлів від кількості всіх вузлів. В такому випадку протокол допомагає досягти зниження загальної енергетичної мережі в сім - вісім раз, у разі одноразової передачі, в чотири - вісім раз, при передачі пакетів по декільком вузлам одразу.

Якщо потрібно, то всі вузли будуть недієздатні, в один момент завдяки послідовному розділенню ролей головних вузлів.

Мінімізується загальний розрахунок енергосистем з допомогою розподілення навантаження між усіма вузлами в різні моменти часу. Необхідний вибір найбільш енергетичного вузла, так званого cluster-head. Вузли не зобов'язані знати про топології всієї глобальної мережі. Підходить для мало віддалених один від одного вузлів. Топологія протоколу LEACH вказана на рис 3.1.

Крім того, при виборі головного вузла інші сенсорні вузли визначають, до якого кластера приєднуються основні потужності отриманого сигналу RSS. Від головного вузла.

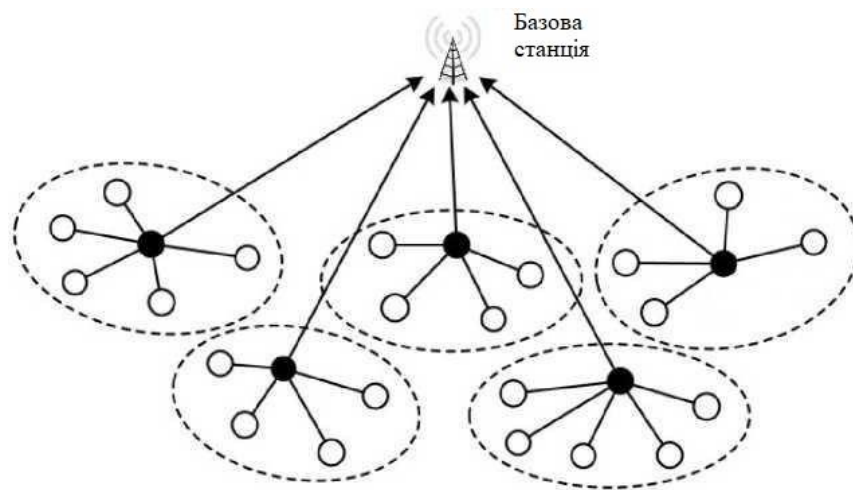


Рис 3.1. Топологія LEACH.

Коли всі вузли організувалися в кластери, головний вузол створює розклад передачі інформації на основі методу TDMA, що гарантує відсутність колізій при передачі повідомлень.

Передача даних (Steady-state phase)

Головний вузол широкосмуговим способом розсилає розклад передачі і запитує своїх членів кластера про передачу даних. Вузли передають дані в відведені для цього інтервали TDMA. Після отримання повідомлень від усіх вузлів головного вузол формує свої повідомлення і передає ці повідомлення на шлюз або базову станцію. Блок схема протоколу LEACH відображена на рис. 3.3.

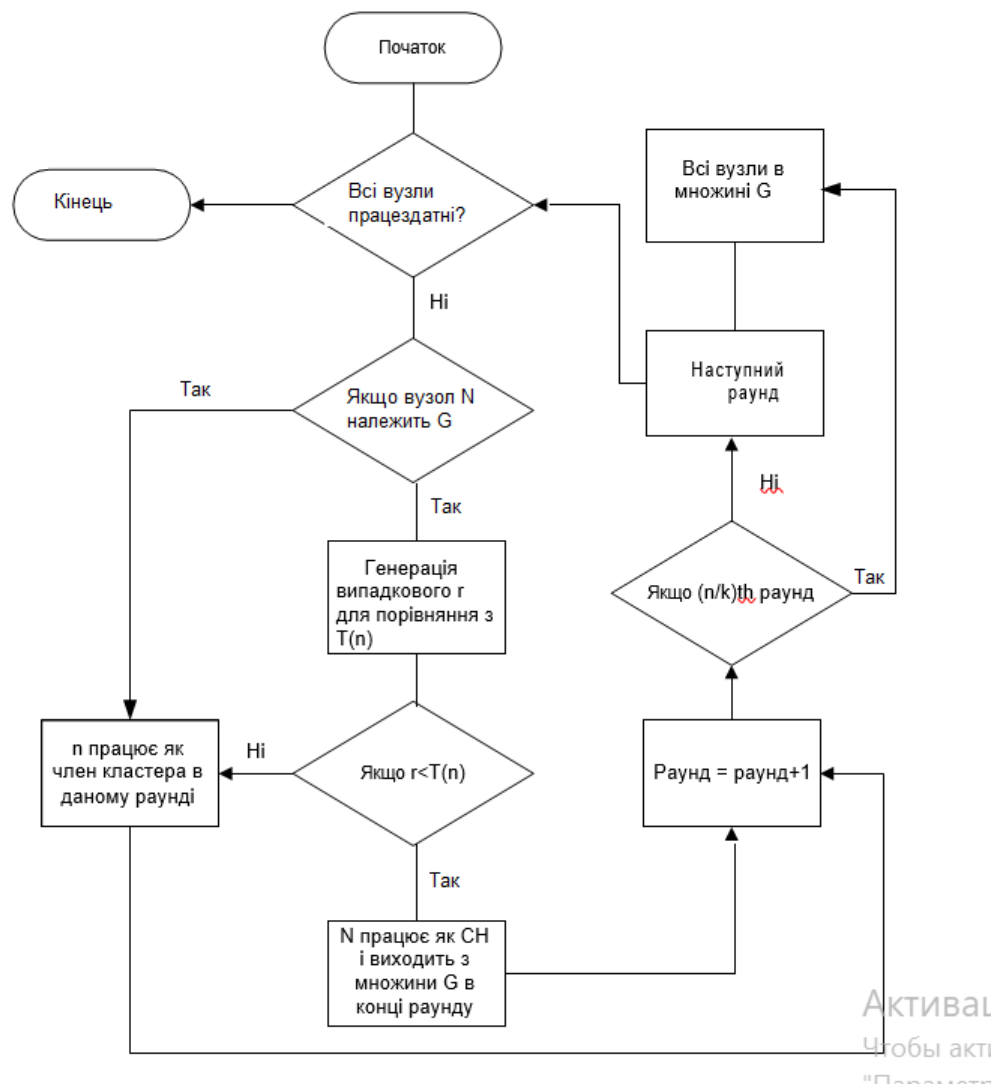


Рис. 3.3. Блок - схема протокола LEACH

Алгоритм LEACH представляє собою розподілений підхід до кластеризації мереж і не вимагає глобальної інформації про неї. Блок схема протокола LEACH показана на рис.3.3.

Згодом алгоритм LEACH був неодноразово модифікований і з'являлись такі алгоритми, як E-LEACH, M-LEACH, LEACH-C, V-LEACH, W-LEACH, -LACH і т.д.

Переваги алгоритму LEACH складаються з наступного :

- будь-який сенсорний вузол, який став головним вузлом у поточному раунді, не може бути вибраний в якості головного вузла, тому для кожного вузла навантаження у вигляді головного розподільника більш або менш рівномірно;
- використаний метод TDMA і розрахункові передачі дозволяють уникати непотрібних колізій;
- члени кластера можуть знаходитися в режимі, що дозволяє уникати використання енергії.
- перший вихід зі строю вузла відбувається в вісім разів пізніше, ніж при використанні прямих передач і статичних кластерних протоколів .

Тим не менш, існують і кілька недоліків в алгоритмі LEACH :

- він виконує тільки пряму передачу даних всередині кластера и саме з головного вузла в БС. Це не завжди можливо в зв'язку з більшим розміром мережі. Крім того, при великому розкладі між головними вузлами і БС споживається багато енергії;

- незважаючи на ротацію головних вузлів СН в кожному раунді, щоб домогтися балансування навантажень, LEACH не може забезпечити реальне балансування в тому випадку, коли головні вузли вибираються в термінах без енергетичних міркувань;
- так як вибори головного вузла виконуються в термінах імовірностей, важко рівномірно розподілити головні вузли всієї мережі. Таким чином, ви існують обрані СН, які зосереджені в одній частині мережі, і деякі з них, в оточенні яких немає СНs.

3.1.2 Алгоритм TEEN

TEEN [4] алгоритм базується на методах кластеризації LEACH. Кожен вузол в кластері періодично стає головним вузлом. Мережа з використанням алгоритму TEEN також має ієрархічну структуру на основі кластерної організації (рис. 3.4). Головний вузол може позначити свої вузли «жорсткий» (hard) і «м'який» (soft) пороги:

- жорсткий поріг (Hard Threshold): Вузол посилає інформацію головному вузлу тільки, якщо кількість накопичених даних знаходиться в заданих межах;
- м'який поріг (Soft Threshold): вузол посилає інформацію головному вузлу тільки, коли кількість накопичених даних змінилося як мінімум на величину, рівну або більшу, ніж м'який поріг.

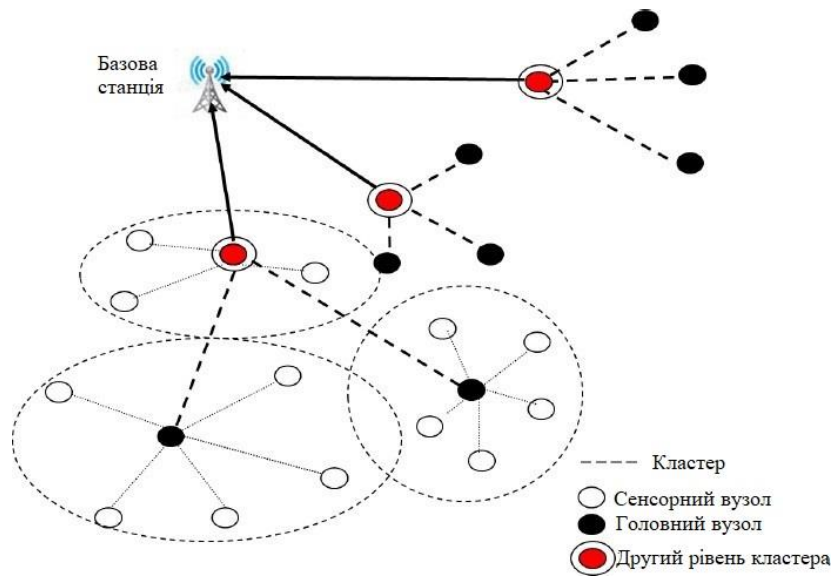


Рис. 3.4. Основна топологія алгоритму TEEN

Згідно сказаному вище, TEEN має наступні переваги:

- жорсткий поріг (НТ) скорочує кількість повідомлень, передаючи іншу формулу лише тоді, коли збираються дані, що знаходяться в діапазоні інтересів. Крім того, м'який поріг зменшує кількість повідомлень окрім тих у яких випробувань, у яких є мінімальні зміни в зібраних даних. Таким чином, алгоритм TEEN зменшує споживання енергії та покращує ефективність і дозування БСМ в цілому;
- TEEN оперативно реагує на великі зміни в зібраних даних, що підходить для реактивних сценаріїв і критичних важливих застосувань.

Тим не менше, існує кілька недоліків і в алгоритмі TEEN:

- алгоритм TEEN не підходить для додатків БСМ з періодичним збором даних, так як користувач не може отримати ніяких даних, якщо значення атрибутів не можуть досягти порога;
- існують витрачені даремно тайм-слоти і ймовірність того, що БМ може бути не в змозі відрізнити непрацездатні вузли від працездатних, тому що передача може здійснюватися тільки тоді, коли дані перевершують жорсткий поріг або поточне значення для м'якого порога відрізняється на величину, рівну або більшу, ніж сам м'який поріг;
- якщо головні вузли СН знаходяться поза радіусом зв'язку один з одним, дані можуть бути втрачені, тому що поширення інформації здійснюється тільки за допомогою головних вузлів СН.

3.1.3 Алгоритм SEP

Алгоритм SEP [9] розроблений для вибору головного вузла в БСМ виходячи з припущення, що в мережі можлива наявність двох типів вузлів з точки зору їх енергії: звичайні і просунуті вузли. Останнє відразу ж визначає, що в даному випадку мережа є гетерогенною. Енергія просунутих вузлів більше, ніж енергія звичайних. При цьому для звичайних вузлів початкова енергія дорівнює E_0 , в той час як для просунутих $E_0 (1 + \alpha)$.

Припустимо, що ми маємо n вузлів в мережі, а відсоток просунутих вузлів дорівнює m . тоді:

$$n \cdot (1 - m) \cdot E_0 + n \cdot m \cdot E_0 \cdot (1 + \alpha) = n \cdot E_0 \cdot (1 + \alpha \cdot m)$$

3.1.4 Алгоритм DEEC

В [6] автори запропонували новий розподілений енергозберігаючий алгоритм кластеризації для гетерогенних бездротових багаторівневих сенсорних мереж, який названий DEEC.

DEEC оцінює вірогідність вибору головного вузла P_i в багаторівневих гетерогенних БСМ у відповідності до наступної формули:

$$p_i = p_{\text{opt}} \left[1 - \frac{E(r) - E_i(r)}{E(r)} \right] = p_{\text{opt}} \frac{E_i(r)}{E(r)},$$

де $E_i(r)$ - енергія вузла в раунді.

При цьому в алгоритмі DEEC середня енергія мережі $E(r)$ для випадкового раунда r розраховується як:

$$E(r) = \frac{1}{N} E_{\text{total}} \left(1 - \frac{r}{R} \right).$$

R позначає загальну кількість радіологічних мереж і оцінюється таким чином:

$$R = \frac{E_{\text{total}}}{E_{\text{round}}},$$

де $E_{\text{загальна}}$ - це сумарна енергетика мережі,

$E_{\text{круглий}}$ - це розхід енергії в потоці раунда.

Розроблена модель має наступні умови:

- Не підтримується підзарядка вузла спільно з іншими режимами роботи;
- враховані не всі фізичні характеристики каналу передачі даних;
- використовуються модельні значення перетворення енергії, які отримує вузол;
- експериментальна модель вимагає уточнень;
- порівняння з існуючим протоколом досить умовно, необхідно стандартизувати вимірювання

3.2. Експеримент

При порівняльному аналізі алгоритмів маршрутизації та самоорганізації для гомогенних і гетерогенних БСМ були використані наступні показники:

а) життєвий цикл. Життєвий цикл БСМ може бути визначений за допомогою наступних показників:

1) тривалість інтервалу часу від початку функціонування БСМ до моменту виходу з строю першого сенсорного вузла;

2) тривалість інтервалу часу до того моменту часу, коли в робочому стані залишається заданий відсоток сенсорних вузлів;

3) тривалість інтервалу часу до виходу зів строю останнього сенсорного вузла.

б) стабільність. Тривалість інтервалу часу від початку функціонування БСМ до моменту виходу з строю першого сенсора вузла.

в) нестабільність . Тривалість інтервалу часу від моменту виходу зі строю першого сенсорного вузла до моменту загибелі останнього.

г) число працездатних вузлів і число непрацездатних вузлів.

Порівняльний аналіз алгоритмів маршрутизації та самоорганізації маршрутизації DT, LEACH, SEP, DEEC і TEEN проводився з використанням MATLAB. Параметри для розрахунку витрати енергії в таблиці 3.1. Ці параметри використовуються для розрахунку витрати енергії в протоколі LEACH, з яким виводиться порівняння. Розрахунок витрати енергії відбувається за формулою (3.1) [5], згідно якої поточне значення енергії зменшується на величину, що залежить від параметра distance. Параметр distance, в свою чергу, змінюється в залежить від розташування вузлів за формулою (3.2) [5]. У таблиці 3.2 наведені значення констант для алгоритму TEEN.

$$\text{Node}(i).\text{Energy} = \text{Node}(i).\text{Energy} - \left((E_{\text{TX}} + E_{\text{DA}})(4000)E_{\text{amp}} * 4000 * \text{distance}^4 \right),$$

$$\text{distance} = \sqrt{(\text{Node}(i).\text{xd} - \text{Node}(+1).\text{xd})^2 + (\text{Node}(i).\text{yd} - (\text{Node}(n + 1).\text{yd}))^2}.$$

Таблиця 3.1

Параметри моделювання

Позначення	Значення	Розмірність
Кількість вузлів N	50	Шт
Розміри поля (X, Y)	(100,100)	М
Розташування базової станції (x, y)	(100,150)	М
Енергія E _{amp}	0,0013	нДж
Енергія, яка витрачається на передачу E _{tx}	50	нДж
Енергія, яка витрачається при прийомі E _{rx}	50	нДж

Енергія збору даних одного біта E_{DA}	5	нДж
--	---	-----

Таблиця 3.2

Початкові значення алгоритму TEEN

Позначення	Значення
Жорсткий поріг	100
М'який поріг	2

При порівняльному аналізі використовувалися кілька сценаріїв побудови БСМ.

3.2.1 Перший сценарій

У першому сценарії сенсорні вузли випадково розподілені на площині розміром 100м * 100м. Число вузлів в мережі складає 50 і базової станції на межі сенсорного поля з координатами (150, 50) м (рис.3.5).

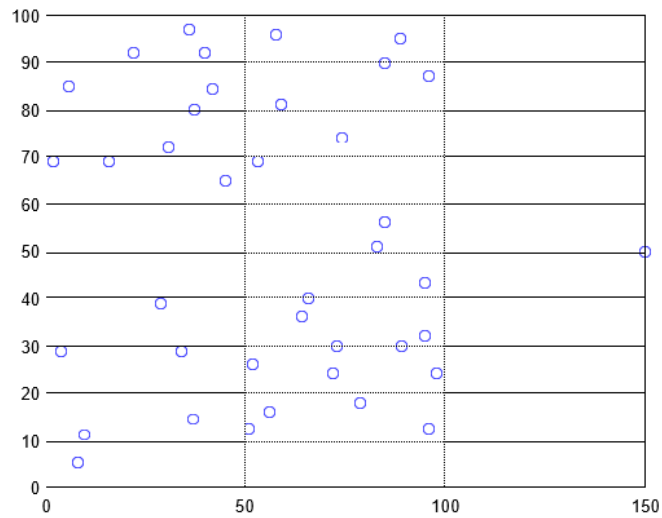


Рис. 3.5. Випадкове розташування вузлів

У цьому сценарії порівнюємо алгоритм прямої передачі (DT) та алгоритми ієрархічної маршрутизації LEACH і TEEN для гомогенних (однорідних) сенсорних мереж. На рис. 3.6 і 3.7 наведені характеристики для алгоритму прямої передачі на початку життєвого циклу і після 180 раундів.

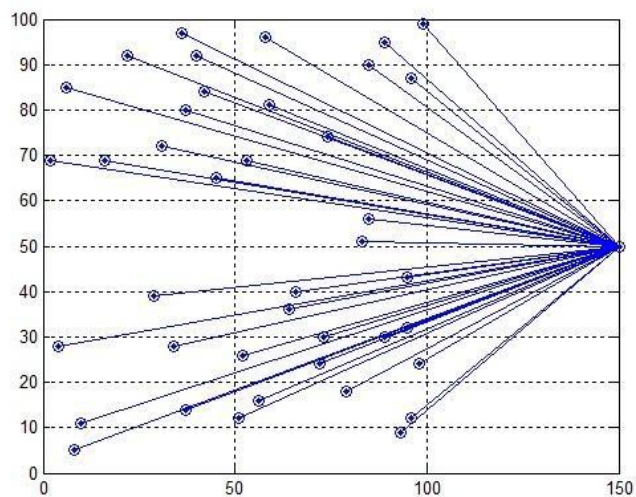


Рис. 3.6. Алгоритм прямої передачі на початку життєвого циклу

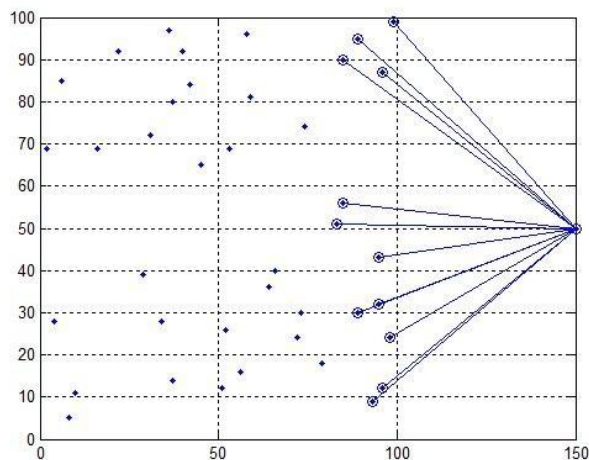


Рис.3.7. Алгоритм прямої передачі після 130 раундів

При використанні алгоритму прямої передачі DT сенсорний вузол передає дані безпосередньо на базову станцію незалежно від відстані. Як бачимо, при цьому вузли, які знаходяться досить далеко від базової станції, виходять з ладу першими. Тому, ефективне застосування DT доцільно для сенсорних полів невеликого розміру.

На рис. 3.8 показана агрегація сенсорних вузлів у кластерах при виконанні зональних алгоритмів маршрутизації LEACH і TEEN, а рис 3.9 зображає передачу інформації від головних вузлів на базову станцію.

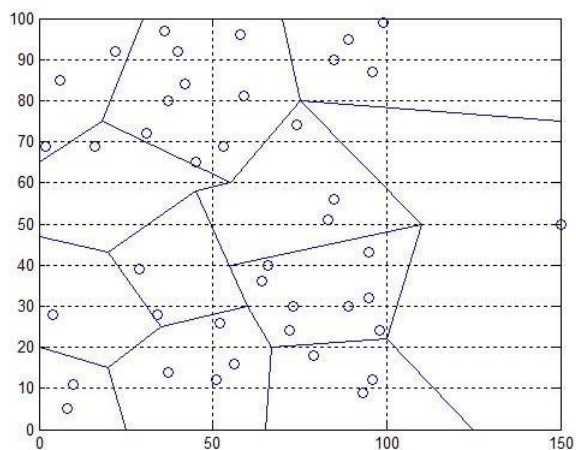


Рис.3.8. Кластеризація БСМ

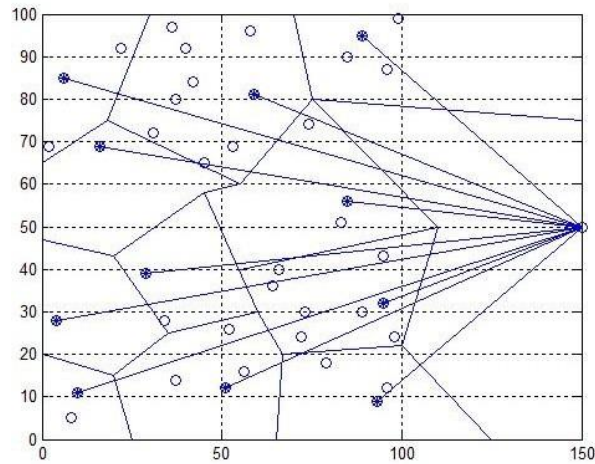


Рис.3.9. Випадкове розташування вузлів

За результатами моделювання встановлено, що алгоритм DT має менший період стабільності мережі і життєвий цикл. Перший вузол для алгоритму DT вийшов з ладу вже в 154 раунді, тоді як для алгоритму LEACH це сталося в 621 раунді, а для алгоритму TEEN в 1130 раунді.

На рис. 3.10 показана тривалість періоду стабільності для всіх вказаних вище алгоритмів до першого виходу з ладу вузла, а на рис 3.11 - залежність залишкової енергії мережі від числа раундів.

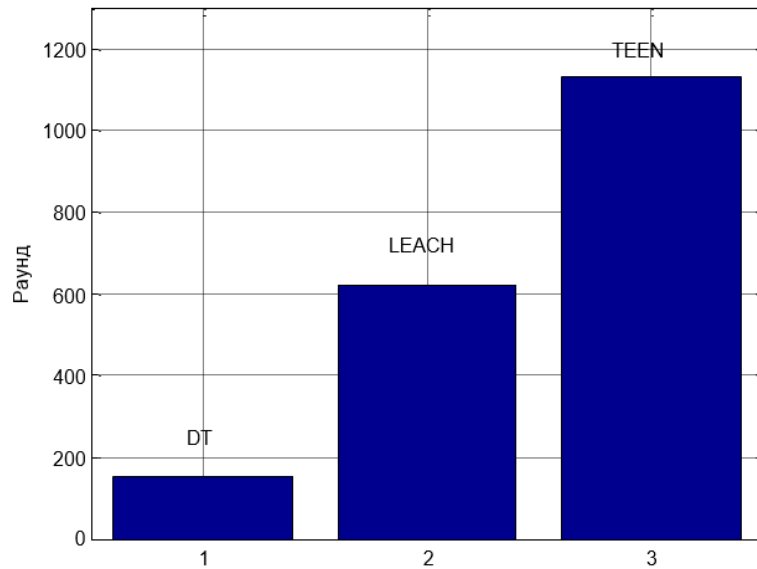


Рис. 3.10. Тривалість періоду стабільності

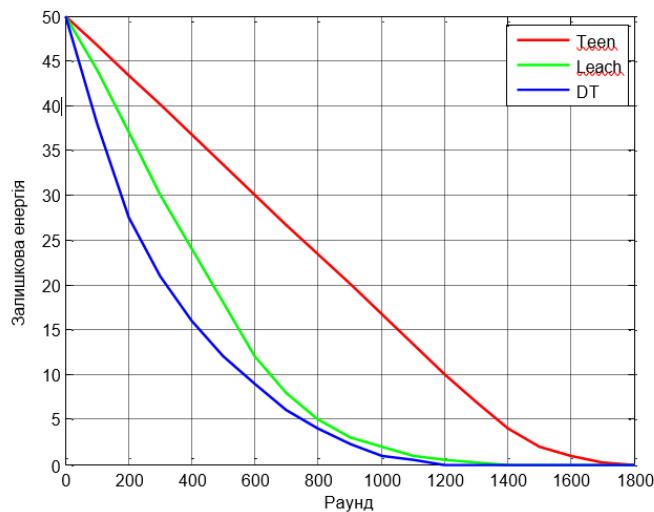


Рис. 3.11. Залежність залишкової енергії мережі від числа раундів

Таким чином, алгоритми кластеризації істотно ефективніше алгоритму прямої передачі. Для алгоритму TEEN тривалість періоду стабільності більш, ніж в сім разів, а для алгоритму LEACH в п'ять разів більше, ніж для алгоритму прямої передачі DT. На рис. 3.12, 3.13 наведені залежності числа працездатних і непрацездатних вузлів відповідно.

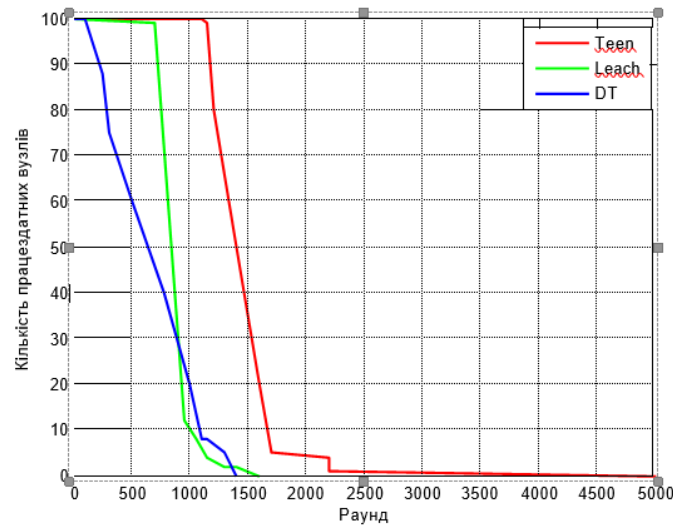


Рис. 3.12. Залежність числа працездатних вузлів від числа раундів

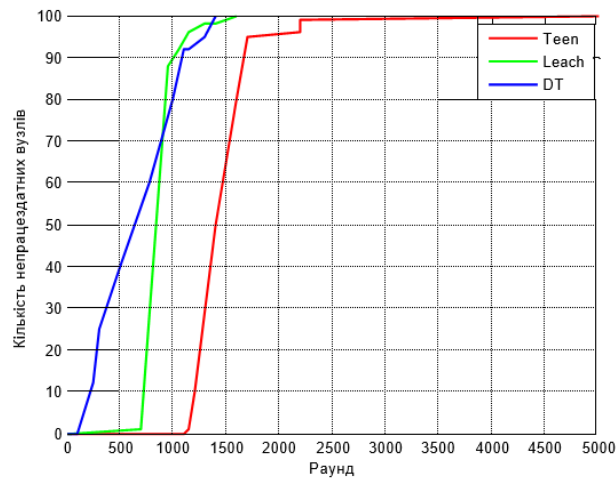


Рис. 3.13. Залежність числа непрацездатних вузлів

3.2.2 Другий сценарій

У цьому сценарії розглянемо гетерогенну сенсорну мережу, в якій є два типи вузлів - звичайні і вдосконалені. Пропонується нова модель, що відрізняється від описаних вище тим, що початкова енергія для вдосконалених вузлів в два рази більше, ніж для звичайних. При цьому їх число становить 10 ...

20% від загального числа вузлів на сенсорному полі. Порівнюємо ефективність застосування алгоритмів DT, LEACH, TEEN і SEP для моделі гетерогенної мережі. На рис. 3.14 показано розподіл звичайних вузлів (\circ) і вдосконалених вузлів (+) випадковим чином на сенсорному полі.

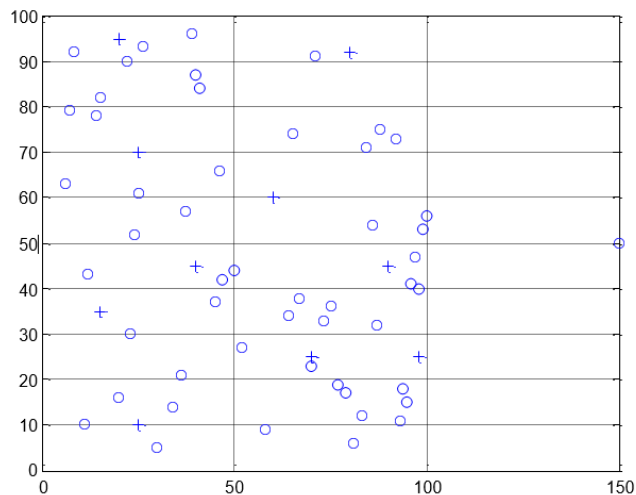


Рис. 3.14. Випадкове розміщення вузлів в гетерогенній мережі

Результати моделювання наведені на рис. 3.15, 3.16, 3.17, 3.18. Аналіз результатів показує, що період стабільності для алгоритму SEP, який спочатку враховує наявність в мережі гетерогенності, істотно більше в порівнянні з алгоритмами LEACH і DT. Разом з тим, останній вузол при використанні алгоритму LEACH виходить з ладу пізніше, ніж для алгоритму SEP. Алгоритм TEEN, хоча і не враховує енергетичне нерівність вузлів, дає кращі результати за всіма показниками, ніж алгоритми SEP, LEACH і DT.

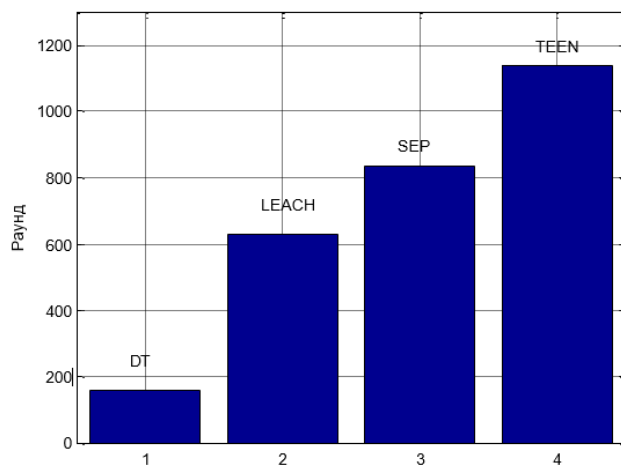


Рис. 3.15. Тривалість періоду стабільності на момент виходу з ладу першого вузла

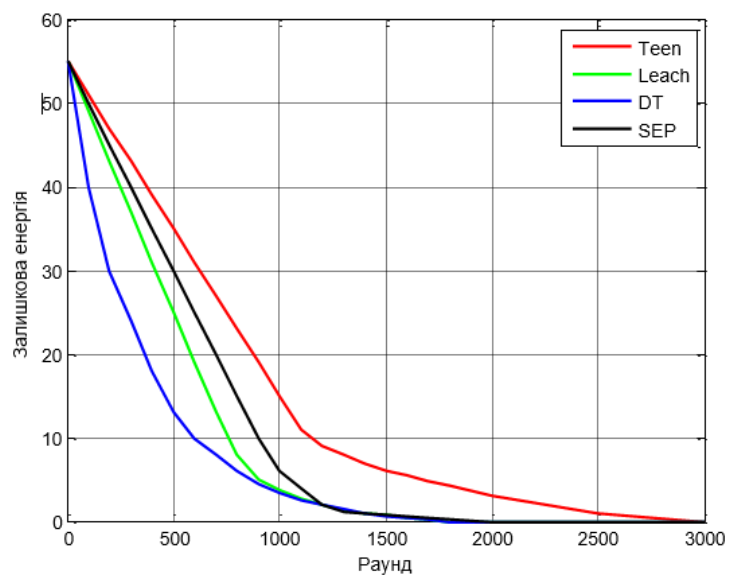


Рис. 3.16. Залежність залишкової енергії мережі від числа раундів

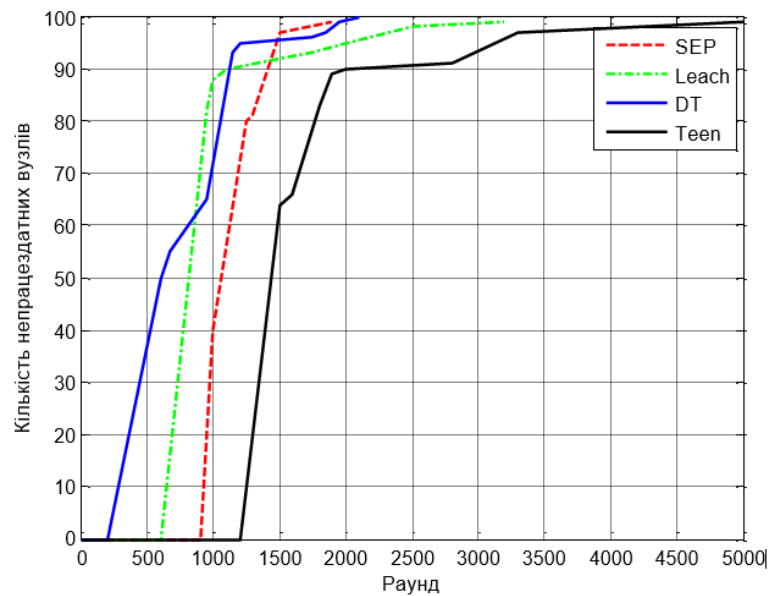


Рис. 3.17. Залежність кількості не працюючих вузлів

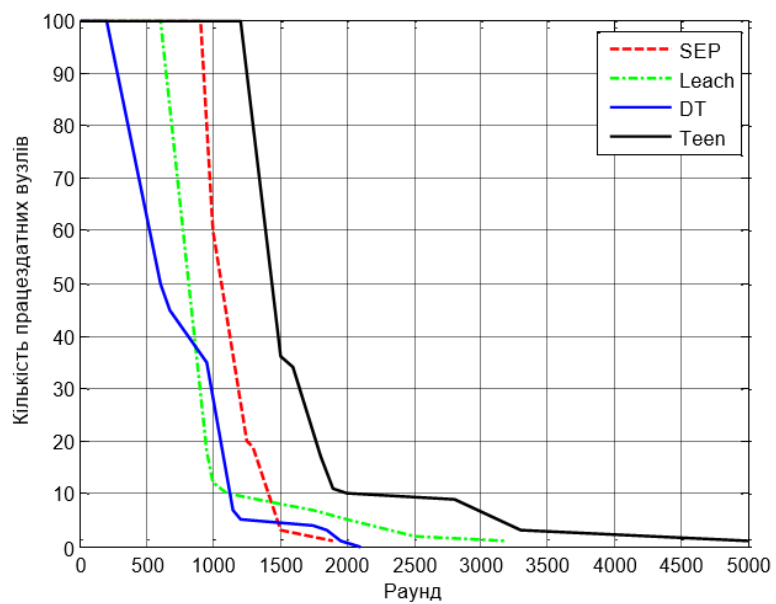


Рис. 3.18 Залежність кількості працюючих вузлів

3.2.3. Третій сценарій

У цьому сценарії розглянемо багаторівневі по можливим енергетичним характеристикам сенсорних вузлів гетерогенні мережі. При цьому гетерогенна сенсорна мережа містить сенсорні вузли трьох рівнів: звичайні, вдосконалені і супервузли. Кожен вузол має свою первинну енергію, значення первинної енергії змінюється в рамках від 1 ... 100нДж.

Результати моделювання наведені на рис. 3.19, 3.20. Аналіз результатів моделювання показує, що і по тривалості періоду стабільності, і за залишковою енергії алгоритм DEEC, спочатку спеціалізований для багаторівневих гетерогенних мереж, значно ефективніший, ніж алгоритми LEACH і DT. Разом з тим, алгоритм TEEN і для випадку багаторівневих гетерогенних сенсорних мереж краще, ніж спеціалізований для цих цілей алгоритм DEEC, і по тривалості періоду стабільності, і за залишковою енергії.

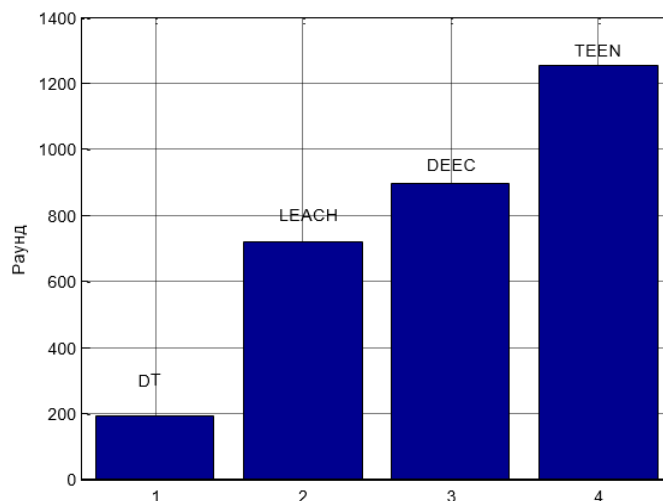


Рис. 3.19. Тривалість періоду стабільності на момент виходу з ладу першого вузла першого вузла

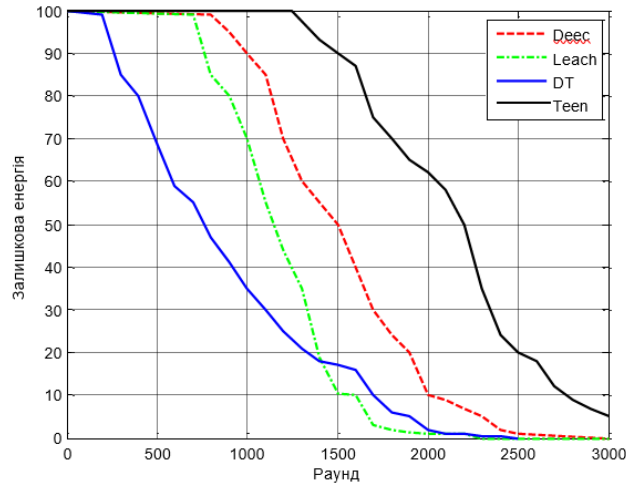


Рис. 3.20. Залежність залишкова енергії від числа раундів

Результати моделювання для всіх сценаріїв до виходу з ладу першого вузла узагальнені на рис. 3.21. Аналіз результатів моделювання показує, що незалежно від виду мережі - гомогенна, дворівнева гетерогенна або багаторівнева гетерогенна - алгоритм TEEN забезпечує найбільше значення тривалості періоду стабільності. Відсутність кластеризації при використанні алгоритму прямої передачі призводить до того, що тривалість життєвого циклу БСМ може зменшитися більш, ніж в сім разів у порівнянні з застосуванням алгоритмів кластеризації.

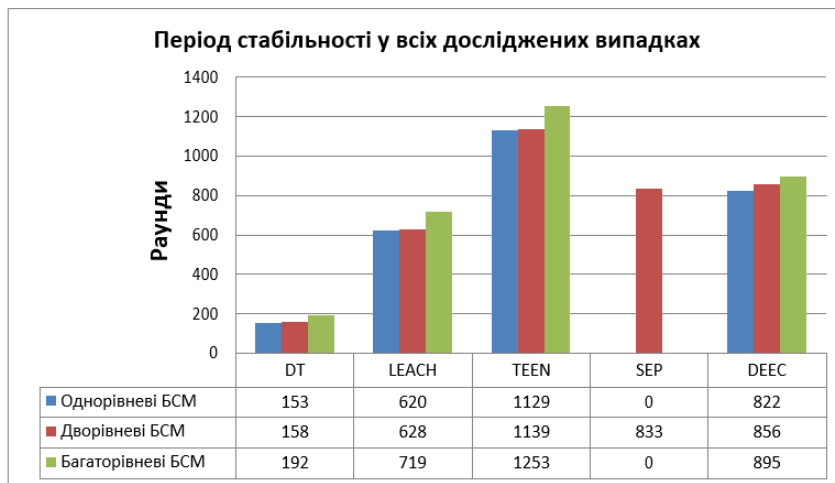


Рис. 3.21. Тривалість стабільності в усіх досліджених випадках

ВИСНОВКИ

Також в роботі розглянуті основні алгоритми маршрутизації і самоорганізації для гомогенних і гетерогенних бездротових сенсорних мереж зі стаціонарними сенсорними вузлами, розміщеними на площині. За результатами моделювання проведено порівняльний аналіз ефективності застосування алгоритмів DT, LEACH, SEP, TEEN і DEEC для різних сенсорних мереж (гомогенні, гетерогенні дворівневі, гетерогенні багаторівневі). За результатами досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Використання неієрархічних алгоритмів маршрутизації щодо ефективно для сенсорних полів невеликого розміру. Для великих сенсорних мереж використання неієрархічних алгоритмів недоцільно, оскільки вимагає великих енерговитрат і не забезпечує більш-менш рівномірного життєвого циклу для сенсорних вузлів.

2. Порівнюючи однорівневі і ієрархічні алгоритми маршрутизації, можна відзначити, що ієрархічні алгоритми представляють більше можливостей по реалізації різних програм БСМ.

3. Ієрархічні алгоритми маршрутизації збільшують тривалість життєвого циклу мережі і стабільність, що підвищує надійність функціонування БСМ. Ієрархічна маршрутизація дозволяє гнучко вирішувати різні завдання з урахуванням можливостей сенсорних вузлів. При цьому, вузли з високою енергоємністю (можливо з постійним енергопостачанням) можуть агрегувати дані і передавати їх в мережу зв'язку загального користування, в той час як вузли з низькою енергоємністю можуть використовуватися виключно для збору даних.

4. Базовий алгоритм LEACH - вкрай ефективний протокол для гомогенних БСМ. Він допомагає знизити енерговитрати в сім разів у порівнянні з прямим взаємодією сенсорних вузлів. У той же час, незважаючи на ротацію головних вузлів СН в кожному раунді, щоб домогтися балансування навантаження,

LEACH не може забезпечити реальну балансування в разі сенсорних вузлів з різною кількістю початкової енергії, оскільки головні вузли СН обираються в термінах ймовірностей без енергетичних міркувань. Крім того, так як вибори СН виконується в термінах ймовірностей, важко рівномірно розподілити СН всієї мережі. Таким чином, існують обрані СН, зосереджені в одній частині мережі, і деякі вузли, в околицях яких немає СН.

5. Алгоритми SEP і DEEC перевершують по тривалості періоду стабільності і залишкової енергії алгоритми DT і LEACH в умовах застосування гетерогенних БСМ.

6. Алгоритм TEEN, що є розвитком алгоритму LEACH, перевершує за тривалістю періоду стабільності і залишкової енергії всі розглянуті алгоритми і рекомендується до використання, як в гомогенних, так і в гетерогенних БСМ.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ВДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРИ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ.

В останні кілька років до WSN спостерігається зростання інтересу. Її використовують в різних областях, таких як військова, медична, екологічна і т. д. WSN складається з великої кількості вузлів з мікродатчиків малої потужності, розгорнутих в великому просторі та що найменш, з одного BS. Кожен мікродатчик контролює фізичні або навколишні умови, такі як тиск, температура, вологість і т. д., а потім відправляє зібрані дані назад в BS. У WSN позиції вузлів не визначені заздалегідь, що дозволяє автономно організувати мережу. Як показано на рисунку 4.1, WSN включає в себе вузли датчиків, розподілені випадковим чином, BS отримує всі дані, які були зібрані з середовища, і користувача, який збирав дані через Інтернет.

Кожен сенсорний вузол в мережі складається з чотирьох частин: датчика, елементу обробки, бездротової передачі і блоку живлення (зазвичай це батареї), як показано на рисунку 4.2. Одним з найбільш важливих блоків є блок живлення. Вузли датчиків в такому середовищі обмежені по енергії, так як батареї не можна перезарядити або замінити. Отже, розробка енергозберігаючого протоколу зацікавила продовженням терміну служби мережі. Таким чином, споживання енергії є основним важливим фактором в більшості додатків, де все сенсорні вузли обмежені енергією, яка пов'язана з терміном служби мережі. Обмежена потужність вузлів вимагає розробки протоколу обміну даними, який зберігає енергію. Таким чином, багато видів досліджень зосереджуються на протоколах маршрутизації, що є однією з найбільш важливих технологій у WSN [13].

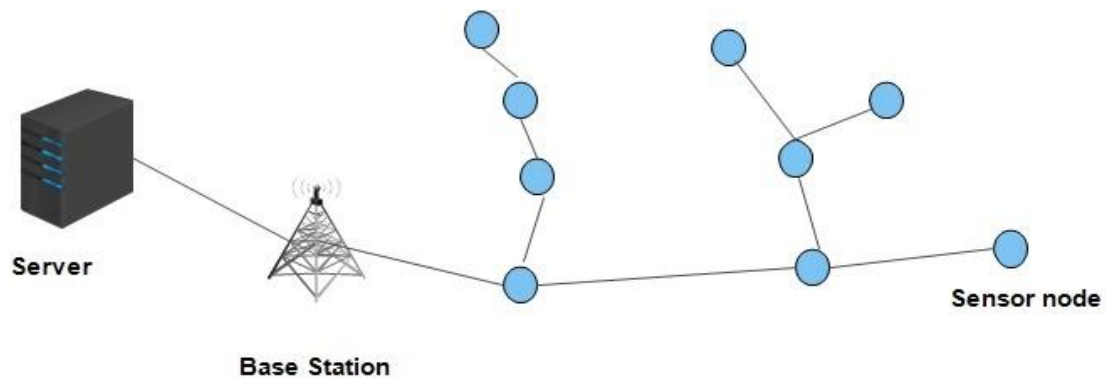


Рис. 4.1. Архітектура WSN

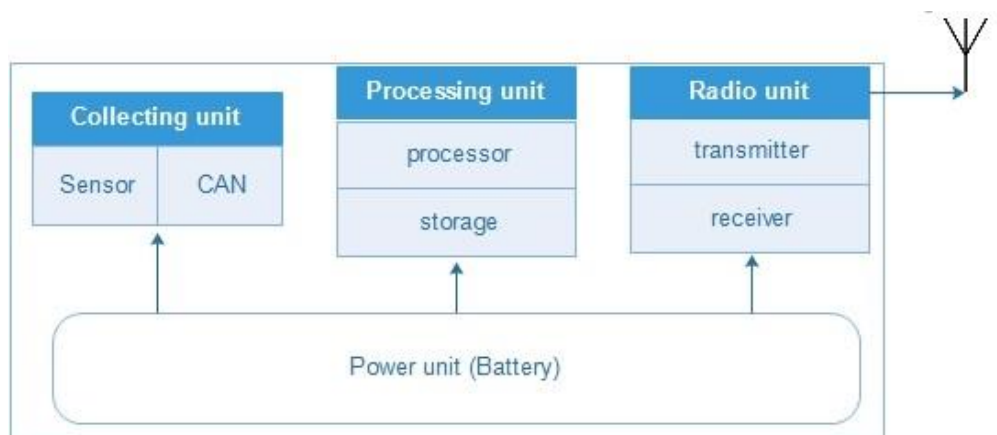


Рис. 4.2. Вузли сенсорного вузла в WSN

У літературі багато протоколів маршрутизації розроблені для організації передачі даних від вузлів до приймача, і більшість з них засновано на механізмі ієрархічної кластеризації. Протокол ієрархічної кластеризації з низьким енергоспоживанням (LEACH) як ми з'ясували в попередніх розділах є одним з найбільш ефективних. Тому в цій роботі ми опираємося на протокол LEACH для розробки нового удосконаленого протоколу LEACH, який покращує споживання енергії в WSN. Ця робота спрямована на пропозицію

енергоефективності, стабільності, залишкової енергії, відстані і протоколу кластерної маршрутизації на основі багатoelementної техніки.

4.1 leach (low energy adaptive clustering hierarchy)

LEACH - найпопулярніший і найвідоміший ієрархічний протокол кластеризації, розроблений для економії енергії в мережі. Він використовує метод кластеризації, який ділить мережу на кластери, і за допомогою механізму кластеризації вузли організовуються в ієрархічну організацію. Кожен раунд в алгоритмі LEACH складається з двох основних фаз: установча фаза і стабілізуюча фаза.

На першому етапі обираються СН і формуються кластери. На початку кожного раунду кожен сенсорний вузол видає випадкове значення від 0 до 1. Якщо це значення нижче, ніж функція ймовірності $T(n)$, розрахована в рівнянні (нижче), цей вузол вибирається як СН. Навіть якщо він стає звичайним вузлом [14].

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * (r \bmod (1/P))}, & n \in G \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

Де p відноситься до відсотка від кількості кластерів в мережі. r - поточний раунд, а G - група вузлів, які не були відібрані в якості каналів в раунді r .

Після цього вибираються канали, які поширюють інформацію в мережу. Отже, кожен нормальний вузол вибирає приналежність свого каналу СН в залежності від сили прийнятого сигналу. На другому етапі, коли кластери налаштовані, і кожен вузол знає свій часовий інтервал в TDMA. Звичайні вузли передають свої зібрані дані своїх каналах СН за своїми часовими інтервалами в розкладі TDMA. Розклад TDMA використовується для

настройки каналу внутрішнього доступ в кожному кластері і зменшення інтерференції між кластерами. Отже, кожен СН агрегує і стискає отримані дані від своїх учасників зі своїми власними [15]. Таким чином, інформація кластера направляється безпосередньо в BS через канали СН.

4.2. Модель споживання радіоенергії

У кожному вузлі передавач споживає E_{Tx} , який вже визначений в рівнянні, для передачі n бітів діаметрів віддаленого приймача. Існують дві різні моделі радіозв'язку: 1) вільний простір (fs), яке приймається, коли відстань між передавачем і приймачем менше порогового відстані di_0 ; 2) багатопроменевість (mp), яка використовується, коли відстань більше di_0 . Потім приймач споживає E_{Rx} , описану нижче, щоб отримати n біт пакета.

$$E_{Tx}(n, di) = \begin{cases} n \cdot E_{elec} + n \cdot \epsilon_{fs} \cdot di^2, & di < di_0 \\ n \cdot E_{elec} + n \cdot \epsilon_{mp} \cdot di^4, & di \geq di_0 \end{cases}$$

$$di_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}}$$

$$E_{Rx}(n) = n * E_{elec}$$

Там, де споживання енергії передавача або приймача позначається E_{elec} , fs та mp представляють коефіцієнт посилення енергоспоживання у вільному просторі та багатопроменевій лінії відповідно.

LEACH [16] розроблений для зниження споживання енергії. У цього є деякі переваги, наприклад, кожен вузол може в рівній мірі розділити заряд, накладений на СН, до певної міри, тому що будь-який вузол датчика, який був обраний в якості СН в певному раунді, не може бути повторно обраний в якості СН. Крім того, використання TDMA дозволяє уникнути конфліктів між каналами СН. Проте, у нього є деякі недоліки, так як він впливає на одиночний перехід, в той час як канали СН зв'язуються безпосередньо з приймачем. Крім

того, для великих відстаней між СН і BS може споживатися більше енергії, що робить LEACH непридатним для великих мереж. Більш того, випадковий вибір каналів СН призводить до того, що не всі вузли можуть стати каналами СН [18]. Таким чином, якщо обраний вузол з меншою поточною енергією, то СН швидко помре, що вплине на життєвий цикл мережі.

4.3 Запропонований протокол

В цій роботі головна мета, це розробити новий - вдосконалений алгоритм LEACH. Загальною метою пропонованого протоколу є вибір СН відповідно до залишкової енергії вузлів, щоб уникнути участі вузлів з меншою енергією в якості СН. Щоб запобігти зв'язок всіх каналів з базовою станцією, він вибирає канал з найбільшою залишковою енергією і найменшою відстанню до приймача в якості батьківського каналу. Потім він використовує багатоеlementний перехід між каналами для досягнення батьківського каналу, як ми бачимо на рисунку 4.3. Метод багатоступінчастого переходу використовується для збільшення відстані передачі між каналами і приймачем. Він включає два основних етапи, про які йдеться нижче. Фаза настройки, на якій ми формуємо кластери і вибираємо канал для кожного кластера. Стійка фаза, що складається з трьох підфаз.

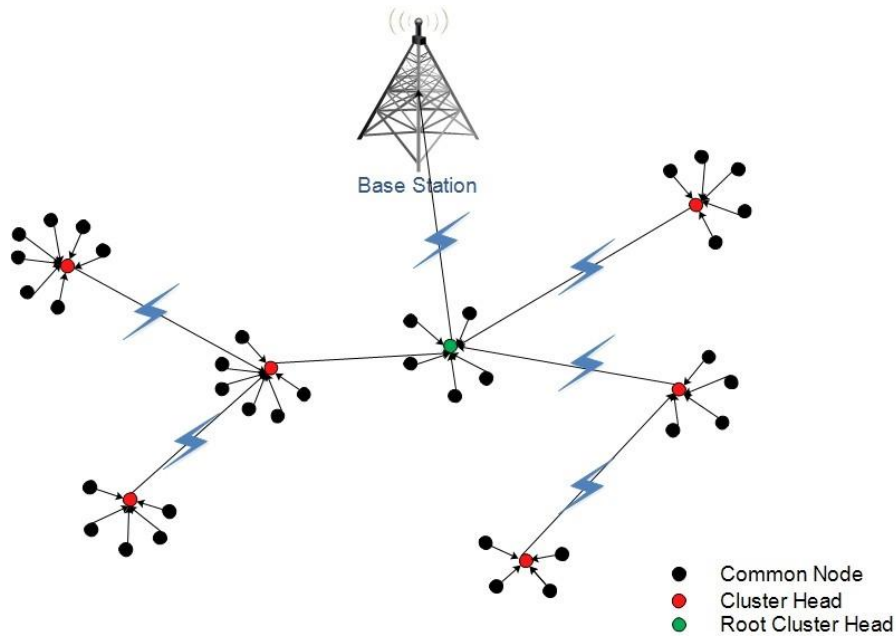


Рис. 4.3. Запропонована архітектура протоколу

4.3.1. Фаза настройки

Випадковий вибір СН в LEACH призводить до того, що не всі вузли отримують можливість стати СН, а також призводить до енергетичного дисбалансу сенсорних вузлів. Щоб гарантувати енергетичний баланс в мережі, запропонований алгоритм вибирає СН відповідно до поточної енергії. В кожному раунді кожен вузол обчислює свою поточну енергію, застосовуючи формули які вказані нижче. Цей вузол може брати участь в ролі СН, якщо його

$$E_{cur} = E_{init} - E_{con}$$

$$E_{con} = E_{Tx} + E_{Rx}$$

поточна енергія перевершує середню поточну енергію [17].

Де E_{Tx} і E_{Rx} визначені відповідно в рівняннях (2) і (4), а E_{init} - це початкова енергія, що забезпечується вузлами на початку.

Таким чином, на основі [12, 17, 24, 25] ми визначили нову межу функцію, як показано тут:

$$Th(n) = \begin{cases} \frac{PE}{1 - Pr * (t \% (1/Pr))}, & n \in C \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$$PE = Pr * \frac{E_{cur}}{E_{init}}$$

Якщо відсоток від кількості каналів СН в мережі представлений Pr , t представляє номер поточного раунда, C являє сукупність вузлів, які ще не були СН в останніх $1 / Pr$ раундах. E_{init} представляє початкову енергію, що забезпечується вузлами на початку, тоді як E_{cur} показує поточну енергію вузлів в момент t повороту.

Після першої умови кожен вузол приймає випадкове значення від 0 до 1. Цей вузол буде обраний як СН на поточному повороті, якщо це значення нижче порогової функції Th . З іншого боку, він стає звичайним вузлом. Після цього канали передають інформацію в мережу. Кожен нормальний вузол визначає приналежність свого каналу відповідно до потужності прийнятого сигналу від каналу.

4.3.2. Стійка фаза

Розклади TDMA (множинного доступу з тимчасовим поділом)

Розклад TDMA створюється кожним каналом після конфігурації кластера відповідно до відстанню і загальною кількістю вузлів в кожному кластері. Кожен нормальний вузол має часовий інтервал TDMA для відправки даних в свій канал.

Вибір голови кореневого кластера

На цьому етапі запропонований алгоритм вибирає кореневий СН, у якого залишкова енергія більше, ніж середня залишкова енергія СН, і його відстань до стоку менше, ніж середня відстань між СН і стоком :

$$E_{average} = \frac{\sum_{i=1}^{CH} E_{cur}(i)}{CH}$$

$$d_{average} = \frac{\sum_{j=1}^{CH} d(j)}{CH}$$

E_{cur} пропонує залишкову енергію СН в поточному витку, коли d вказує відстань між кожним СН і стоком.

Передача інформації

Коли всі компоненти в мережі знають свої ролі на попередніх етапах, звичайні вузли починають збирати дані з середовища, а потім передають їх своїм відповідним СН. Після цього кожен канал зв'язується з найближчим каналом, щоб досягти кореневого каналу, використовуючи техніку багатоланкового з'єднання. Після отримання інформації про всі канали кореневої канал об'єднує їх зі своїм власним, а потім відправляє їх безпосередньо в приймач, як показано на рисунку 4.3.

4.4. Результат і аналіз

У цьому розділі ми використовуємо моделювання для аналізу та імітації продуктивності запропонованого підходу. Моделювання виконується на платформі Matlab 2016b. Параметри моделювання запропонованої нами моделі вказані в таблиці 1. Ми довільно розгорнули 200 вузлів на площі 200 * 200 м², стік був розміщений в позиції (100 | 250).

Таблиця 4.1. Значення параметрів

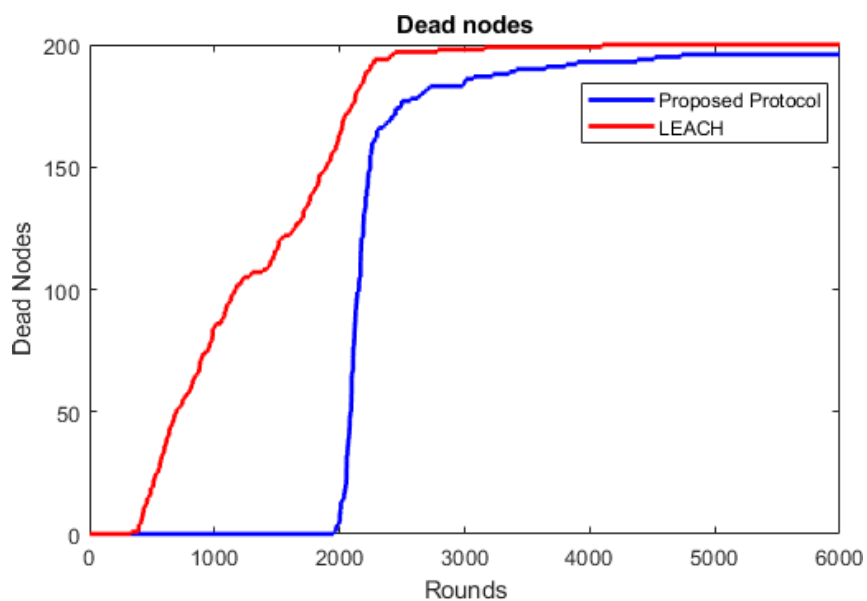
Параметр	Символ	Значення
Загальна кількість вузлів	N	200
Загальна кількість раковин	S	1
Площа	$M * N$	$200 * 200 \text{ м}^2$
Початкова енергія	E_{init}	1 Джоуль
Розташування станції	(x, y)	(100, 250)
Енергія, споживана радіомодулем для передачі або прийому сигналу	$E_{Tx} = E_{Rx}$	50 нДж / бит
Енергія, споживана підсилювачем для передачі на коротку відстань	ϵ_{fs}	10 пДж / бит / м^2
Енергія, споживана підсилювачем для передачі на більшу відстань	ϵ_{mp}	0,0013 пДж / бит / м^4
Енергія агрегації даних	EDA	5 нДж / бит
Розмір пакета	n	500 байт
Кількість раундів	r	6000

Основна мета запропонованого алгоритму - продовжити термін служби мережі за рахунок вибору СН відповідно до поточної енергії і вибору кореневого СН. Спочатку всі вузли мають однакову початкову енергію $E_{init} = 1$ Джоуль. Кожен сенсорний вузол передає пакет даних розмірі 4000 біт за раунд своїй голові кластера. Відсоток СН від загальної кількості каналів в мережі становить 5%, в той час як моделювання

повторюється з 10% і 20% як для запропонованого алгоритму, так і для LEACH.

Результат моделювання, який показує відносну продуктивність обговорюваних протоколів зі значеннями параметрів з таблиці 1 і $Pr = 20\%$, представлений на рисунку 4.4. Він показує мертві вузли в залежності від раундів. На рис. 4.5 порівнюється поведінка як LEACH, так і запропонованого протоколу для $Pr = 10\%$. Рисунок 4.6 ілюструє діаграму порівняльного аналізу обох обговорюваних протоколів для $Pr = 5\%$, в той час як FND представляє First Die Node, а HND вказує Half Node Die. Рисунок 4.7, Рисунок 4.8 і Рисунок 4.9 ілюструють загальну поточну енергію вузлів в мережі для 20%, 10% і 5% відповідно.

Отримані результати з трьох випадків демонструють ефективність нашого методу оптимізації енергоспоживання в WSN. Таким чином, це вказує на те, що запропонований алгоритм працює краще, ніж протокол на основі якого він був розроблений (LEACH) у всіх випадках, за рахунок врівноваження загального споживання енергії, збільшення періоду стабільності і збільшення терміну служби мережі.



(6)

Рис. 4.4. Мертві вузли в LEACH і пропонуваній протокол для 20% СН від загальної кількості вузлів.

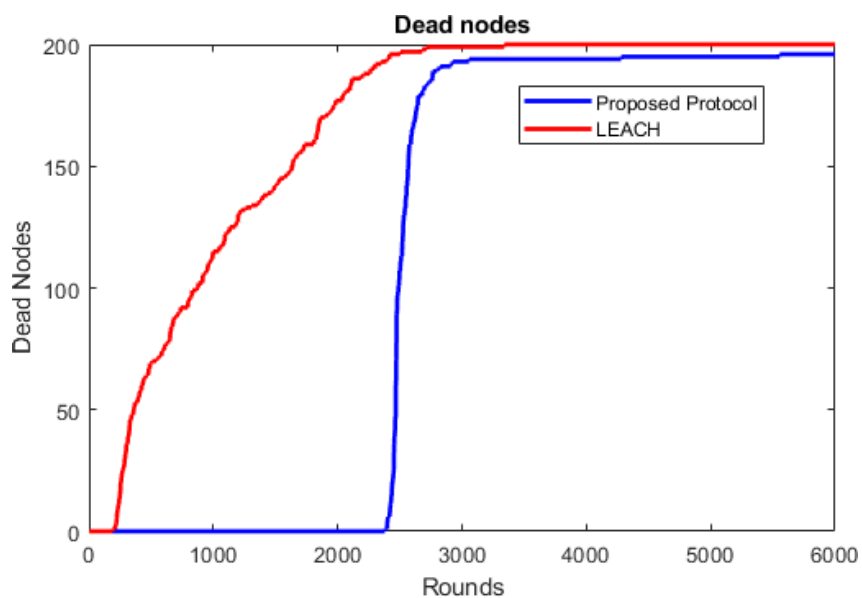


Рис. 4.5. Мертві вузли в LEACH і пропонуваній протокол для 10% СН від загальної кількості вузлів.

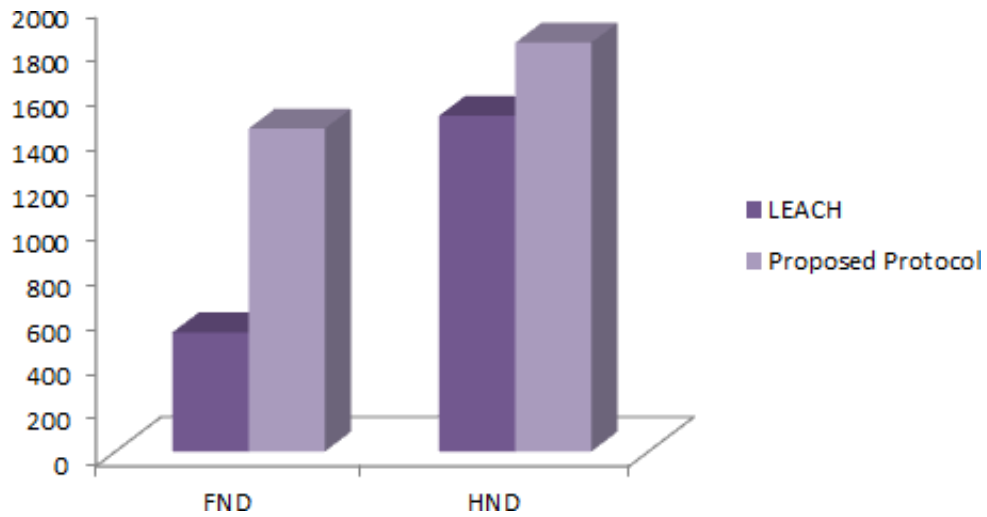


Рис. 4.6. Мертві вузли в LEACH і пропонований протокол для 5% СН від загальної кількості вузлів.

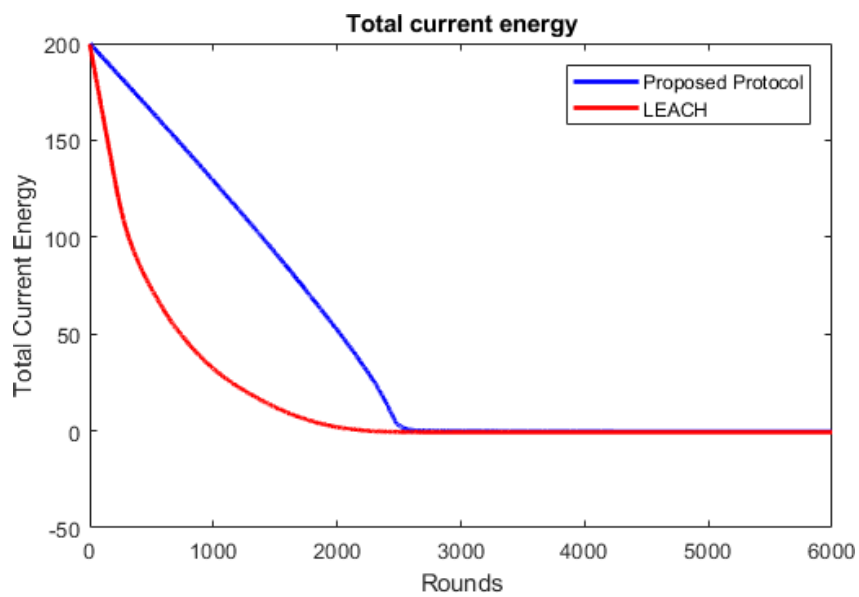


Рис. 4.7. Повна поточна енергія в LEACH і пропонованому протоколі, Загальна поточна енергія для 20% СН від загальної кількості вузлів.

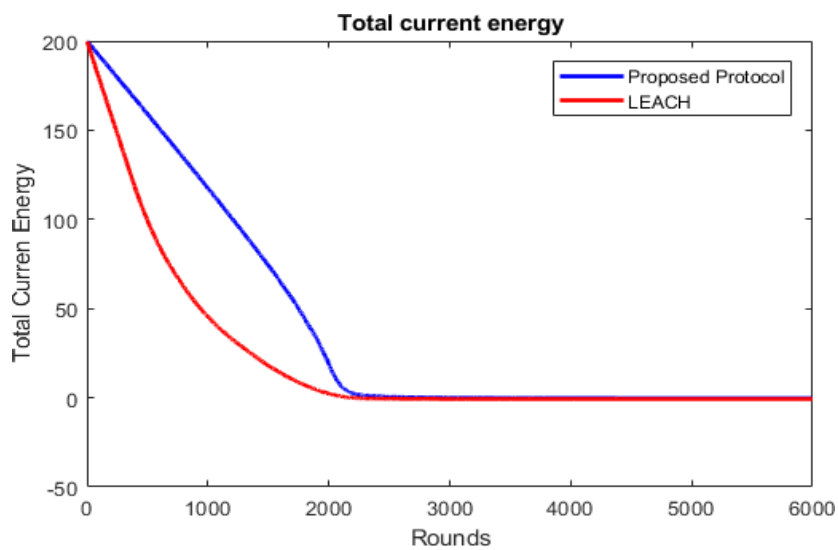


Рис. 4.8. Повна поточна енергія в LEACH і пропонованому протоколі, Загальна поточна енергія на 10% СН від загальної кількості вузлів.

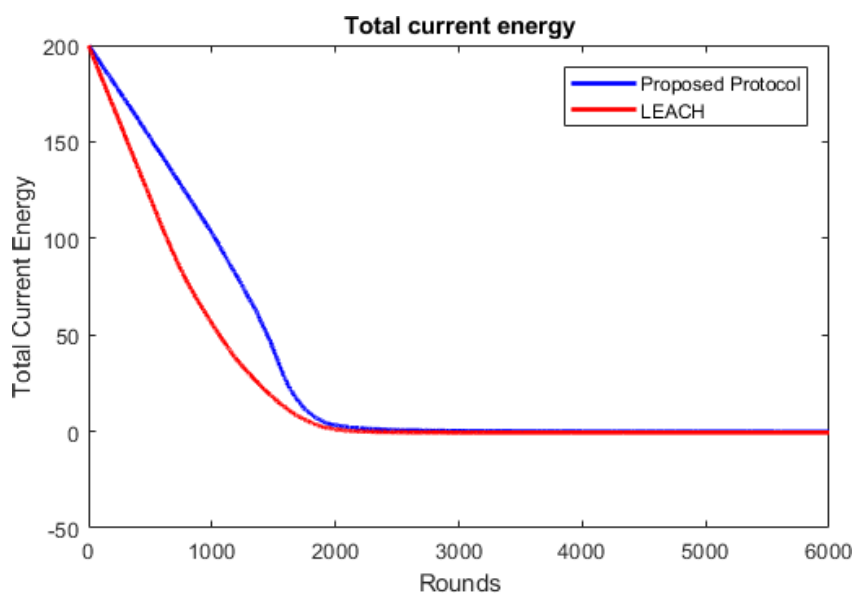


Рис. 4.9. Сумарна поточна енергія при LEACH і пропонованому протоколі для 5%. СН від загальної кількості вузлів.

ВИСНОВКИ

В даний час основною проблемою протоколу маршрутизації в WSN є створення енергоефективної конструкції. Для вирішення цієї проблеми необхідно, щоб сенсорний вузол працював тривалий час з меншим споживанням енергії. Відправлення та прийом даних зазвичай являють собою основне споживання енергії в мережі. Щоб вирішити цю проблему, було розроблено кілька протоколів кластерної маршрутизації. В даній роботі було запропоновано новий підхід до протоколу маршрутизації з ієрархічної кластеризацією в WSN з енергозбереженням за допомогою ієрархічного і кластерного методу. Перша мета розширеного протоколу - це балансування енергоспоживання вузлів. Друга мета - продовження терміну служби мережі і поліпшення періоду стабільності за рахунок: обліку поточної енергії при виборі каналу, облік поточної енергії та відстані до приймача для вибору ведучого каналу, який відправляє агреговані дані в приймач після отримання всіх зібраних даних. Це дослідження було розроблено для оцінки продуктивності пропонованого протоколу в порівнянні з вихідним алгоритмом LEACH.

Результати моделювання в MATLAB підтвердили, що запропонований метод збільшує період стабільності. Отже, він продовжує термін служби мережі більше, ніж взятий за основу протокол LEACH, за рахунок кількості мертвих вузлів і загальної поточної енергії мережі. Таким чином, це також вказує на те, що запропонований нами метод досягає кращих результатів, ніж традиційний протокол LEACH у всіх розглянутих випадках.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту «Метод проектування структури сенсорної мережі, побудованої з використанням бездротових систем».

Стартап як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає.

5.1 Опис ідеї проекту

Ідея проекту полягає у використанні нового протоколу для побудови маршрутизації з ієрархічної кластеризацією в WSN з енергозбереженням, що уточнено наведено в таблиці 5.1.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Використання нового протоколу задля енергозбереження при використанні WSN.	сельское хозяйство	Новий протокол продовжує термін служби мережі.
	мониторинг дорожного движения	Запропонований алгоритм збільшує період стабільності.

Отже, пропонується вдосконалений алгоритм маршрутизації і самоорганізації для бездротових сенсорних мереж зі стаціонарними сенсорними вузлами, розміщеними на площині.. Загальною метою пропонованого протоколу є вибір СН відповідно до залишкової енергії вузлів, щоб уникнути участі вузлів з меншою енергією в якості СН. Отже, він продовжує термін служби мережі більше, ніж взятий за основу протокол LEACH, за рахунок кількості мертвих вузлів і загальної поточної енергії мережі. Таким чином, це також вказує на те, що запропонований алгоритм досягає кращих результатів, ніж традиційний протокол LEACH у всіх розглянутих випадках.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають
 - а) гірші значення (W, слабкі);
 - б) аналогічні (N, нейтральні) значення;
 - в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W	N	S
		Мій протокол	«LEACH»			
1.	балансування енергоспоживання вузлів	Більш енергоефективний	Середній			+
2.	терміну служби мережі	Збільшений	Середній			+
3.	період стабільності	Збільшений	Середній			+
4.	Якість	+	+		+	

Результати моделювання в MATLAB підтвердили, що запропонований алгоритм збільшує період стабільності. Отже, він продовжує термін служби мережі більше, ніж взятий за основу протокол LEACH, за рахунок кількості мертвих вузлів і загальної поточної енергії мережі..

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність техно- логій
1.	Метод проектування структури сенсорної мережі, побудованої з використанням бездротових систем	Статистика	Наявна	Доступна
		Експериментальні дослідження	Наявна	Доступна
		Тестування	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: наявна та доступна на ринку				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок, що наш проект має достатньо умов для перевірки своєї точності, базисних оцінок, на яких формується проблематика.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє оцінити актуальність нашого проекту.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	5000 грн
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростаюча
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Наявність сертифікату відповідності тех.регламенту
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	20%

Рентабельність — поняття, що характеризує економічну ефективність виробництва, за якої за рахунок грошової виручки від реалізації продукції (робіт, послуг) повністю відшкодовує витрати на її виробництво й одержується прибуток як головне джерело розширеного відтворення. З даної таблиці можна зробити висновок, що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Цільова аудиторія проекту — компанії які використовують бездротові сенсорні мережі в тому чи іншому вигляді. Цей ринок достатньо широкий, тому його динаміка є саме зростаючою.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Енергоефективність	Сільське господарство	Вартість проекту.	Подовжений терміну служби мережі
2	Великий період стабільності	Фермери (моніторинг мікроклімату на фермах)	Вартість проекту.	Збільшений період стабільності

У зв'язку з тим, що аудиторія достатньо широка, викликати довіру новими рішеннями буде не дуже складно. Але технологія повинна дійсно підвищувати якість використання бездротових сенсорних мереж. А як показують виміри запропонований алгоритм працює краще, ніж протокол на основі якого він був розроблений.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 5.6).

Так як прямий споживач — може бути як пересіяний покупець, так і інші компанії, узгодження таких процедур займає багато ресурсів. Проте це не є єдиною проблемою.

Таблиця 5.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Попиту	Вдосконалення може виявитися не настільки потрібним.	Перерахунок вартостей для підтвердження ефективності
2.	Економічна	Зростання інфляції	Пошук можливостей для дешевого тестування
3.	Конкуренція	Можливо буде розроблений більш енергоефективний алгоритм	Збільшення перевірок та гарних відгуків
4.	Науково-технічна	Швидкий розвиток науки	Моніторинг наукових новин та пошук нових шляхів вдосконалення проекту

Ризики існують, тож потрібно мати міцний фундамент у вигляді документів, сертифікатів, які підтверджують усі можливі наміри, результати тестувань та виділення основних переваг цього протоколу для більшої ефективності бездротових сенсорних мереж.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.7).

Таблиця 5.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Немає аналогів	Збільшення обсягів інтеграції
2.	Економічна	Зменшення податків сферу діяльності	Зниження собівартості
3.	Попиту	Інтеграція зможе створювати перевагу у поєднанні кількох систем одночасно за ціною однієї	Викликання довіри
4.	Природні та екологічні чинники	Підвищення потреби у використанні бездротових сенсорних мереж	Попит
5.	Збуту	Зменшення кола рішень до однієї компанії	Закріплення за собою лідерства у галузі

Деякі загрози можуть слугувати факторами розвитку нових можливостей для проекту. Це звісно спонукає до використання додаткових ресурсів для вирішення цих проблем.

Конкуренція також була як і фактором загрози, так і можливістю показати свої переваги. Для цього був проведений надалі аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку

Таблиця 5.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції: олігополія	Невелика кількість фірм на ринку	Підтримка високої якості обслуговування
За рівнем конкурентної боротьби: національний	Багато систем використовують старі протоколи при яких вже працюють мережі	Ведучи конкуренцію на національному рівні, компанії необхідно прикласти належні зусилля для охоплення всього національного ринку
За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Стосується тільки галузі бездротових сенсорних мереж	Необхідно зосередити зусилля на пошуку конкурентних переваг, які дозволять компанії займати стійкі конкурентні позиції на даному ринку
Конкуренція за видами товарів: товарно-родова	Між іншими потенційними протоколами	Покращувати рекламу
За характером конкурентних переваг: цінова	Споживач звертає увагу на те, скільки коштуватиме інтеграція нашого проекту у його продукт	Пошук підрядників, які б виконувати роботі процеси за нижчу ціну
За інтенсивністю: марочна	Один відомий продукт бренду може принести продажі інших продуктів. Тож з'явиться сенс покращувати актуальні продукти.	Набір усіх необхідних документів та даних для легкої та вдалої інтеграції

Аналіз підтвержує, що навіть при своїй специфіці, наш проект потребує значних зусиль для того, щоб увійти у ринок, зафіксуватися та пропонувати свої можливості своїм клієнтам. І це як раз той випадок, коли вартість впливає на прийняття рішення.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 5.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Протокол LEACH	Можливі нові протоколи	Робоча сила, елементи у системі вдосконалення	Ціноутворення	Неякісні замінники
Висновки	Немає високої конкуренції, оскільки розроблений протокол перевершує вже існуючий, але є так звана «перевага першопрохідців»	Нові протоколи потенційно можуть мати перевагу над розробленими нами.	-	Клієнти диктують основні умови на ринку	-

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 5.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Ціна інтеграція впливає на прийняття рішення. А наша ціна вигідніше, ніж у аналогів.
2	Актуальність	Вдосконалюється протокол, проте має бути важлива основа, яка підтверджує актуальність. І вона доведена нашим проектом.
3	Попит	Наука розвивається, як і телекомунікації. І технологія не може бути несучасною.
4	Енергоефективність	Наш протокол є найбільш енергоефективним на ринку.
5	Інноваційність	Робить українську науку на рівні з іншими країнами.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 5.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 5.11). Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 5.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			— 3	— 2	— 1	0	+1	+2	+3
1	Енергоефективність	16					+		
2	Термін служби	18						+	

З таблиць 5.10 та 5.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для розрахунку концентрації пилу. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Таблиця 5.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>3 Невелика конкуренція;</p> <p>4 Інноваційність;</p> <p>5 Вартість.</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>1) Відсутність довіри;</p> <p>2) Велика витрата ресурсів до самих продажів на рекламу</p>
<p>Можливості:</p> <p>1. Збільшення продаж;</p> <p>2. Отримання державних замовлень на отримання послуг;</p> <p>3. Розширення ринку за рахунок іноземних замовників;</p> <p>4. Отримання тендерів на послуги.</p>	<p>Загрози:</p> <p>— Цінова конкуренція в зв'язку з появою нових гравців на ринку.</p> <p>— Різка зміна курсу гривні може привести до зменшення попиту, особливо з боку малих фірм.</p>

Це знову підтверджує, що навіть незважаючи на свою специфіку, наш проект потребує значних зусиль для того, щоб увійти у ринок, зафіксуватися та пропонувати свої можливості своїм клієнтам.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової.

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	70%	3 місяці
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	70%	3 місяці
3	Стратегія виходу з ринку	80%	6 місяців

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Сільське господарство	Так	Середній	Середня	Складна
2	Медицині	Так	Високий	Висока	Складна
3	Промисловість	Так, але складніше	Середній	Низька	Складна
<p>Які цільові групи обрано:</p> <p>Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із бездротовимим сенсорними мережами</p>					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, яким найбільш необхідний наша розробка. Адже тільки вони можуть інтегрувати його у свої продукти, тим самим вдосконалюючи їх, тестувати, робити висновки та використовувати у комерційній діяльності.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Перемовини з компаніями, які представляють цільові групи потенційних клієнтів	Виокремлення переваг цього способу у грошовому еквіваленті для майбутніх споживачів.	Стратегія підкріплення своїх переваг

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Забирати існуючих	Ні	Стратегія підкріплення своїх переваг

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 5.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Цілкова підтримка на етапі інтеграції	Відкритість до вирішення питань	Обізнаність свого продукту, допомога в інтеграції. Формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Якість. Термін служби. Енергоефективність..

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18. Визначення ключових переваг концепції товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Конкурентоспроможності	Унікальність	Немає анонсованих вдосконалень

Це основна причина споживачів придбати наш проект — стати унікальними на ринку.

Таблиця 5.19. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Довго вагаються для прийняття рішень	-	Унікальність	Донести, що завдяки нашому проекту буде прибуток	Унікальність

ВИСНОВКИ

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок, що проект «Метод проектування структури сенсорної мережі, побудованої з використанням бездротових систем» є реальним, проте має багато ризиків. Вдалося прорахувати його можливості на ринку та загрози. Зараз на нашому ринку немає анонсованих аналогів подібного способу, проте можливо, що згодом вони з'являться. Проте це може створити ряд перепон, як технічних, бюрократичних, так і фінансових. Тож завдання інтегрувати розроблений протокол у продукти наших потенційних клієнтів є реальним, але має мати щось більше, ніж просто обіцяючі аргументи. Це мають бути сертифікати, статистичні дані, багато досліджень щодо необхідності цього способу та доведення, що спосіб не суперечитиме існуючим діям бездротових сенсорних систем. Адже саме це є основою у вдосконаленні бездротових сенсорних систем.

Також можна зробити висновок, що значну роль відіграватиме вартість інтеграції. Це те, що у першу чергу впливатиме на рішення медичного виробника, адже кінцева вартість його продукту має бути конкурентоспроможною.

Так як галузь потенційно достатньо широка в Україні, наш проект у теорії матиме попит серед наших виробників бездротових сенсорних мереж.

Наступний висновок — так як інші виробники ще не анонсували подібних вдосконалень, у проекту є шанси стати лідером у своїй області. А продукт, який інтегрує його у себе — монополістом.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Були розглянуті стандарти передачі даних в бездротових сенсорних мережах. Було розглянуті такі стандарти: Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, ZigBee, їх характеристики та особливості. Було обрано оптимальний стандарт для роботи бездротових сенсорних мереж.

Було розглянуто класифікацію та особливості бездротових сенсорних мереж. Більш детально розглянуті гетерогенні БСМ. Проаналізована кластерна архітектура бездротових сенсорних мереж. Та зроблен висновок, що алгоритм вибору головного вузла кластера є одним з найважливіших факторів в побудові архітектури БСМ.

Також в роботі розглянуті основні алгоритми маршрутизації і самоорганізації для гомогенних і гетерогенних бездротових сенсорних мереж зі стаціонарними сенсорними вузлами, розміщеними на площині. За результатами моделювання проведено порівняльний аналіз ефективності застосування алгоритмів DT, LEACH, SEP, TEEN і DEEC для різних сенсорних мереж (гомогенні, гетерогенні дворівневі, гетерогенні багаторівневі). За результатами досліджень були зроблені певні висновки, які допомогли в подальшій розробці.

В даній роботі було розроблено новий протокол маршрутизації з ієрархічної кластеризацією в WSN з енергозбереженням за допомогою ієрархічного і кластерного методу. Перша мета розширеного протоколу - це балансування енергоспоживання вузлів. Друга мета - продовження терміну служби мережі і поліпшення періоду стабільності за рахунок: обліку поточної енергії при виборі каналу, облік поточної енергії та відстані до приймача для вибору ведучого каналу, який відправляє агреговані дані в приймач після отримання всіх зібраних даних. Це дослідження було розроблено для оцінки продуктивності пропонованого протоколу в порівнянні з вихідним алгоритмом LEACH.

Результати моделювання підтвердили, що запропонований метод збільшує період стабільності. Отже, він продовжує термін служби мережі більше, ніж взятий за основу протокол LEACH. Таким чином, це також вказує на те, що запропонований метод проектування сенсорної мережі досягає кращих результатів, ніж традиційні методи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) А.Е. Самоорганизующиеся сети/ А.Е. Кучерявый, А.В. Прокопьев, Е.А. Кучерявый // СПб, –Любавич», 2011.
- 2) Гольдштейн, Б.С. Сети связи пост – NGN / Б.С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый // БХВ, С.Петербург, 2013
- 3) Loscri V. A Two-Level Hierarchy for Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy/V. Loscri, G. Morabito, S. A. Marano // Proceedings of the 2nd
- 4) Manjeshwar A. TEEN: A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Network / A. Manjeshwar, D. P. Agrawal, //1st international Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, 2001, p.189.
- 5) Ran G. Improving on LEACH protocol of wireless sensor networks using fuzzy logic / G. Ran, H. Zhang, S. Gong // J. Inf. Comput. Sci. 2010; 7: 767775.
- 6) Qing Li. Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks / Li. Qing, Qingxin Zhu, Mingwen. Wang // Computer Communications 29 (2006) 2230-2237 pp.
- 7) Уджуху Т. Перспективы SDN на телеком-рынке / Т. Уджуху // Технологии и средства связи. – 2015. – №2(107). – С. 52-54.
- 8) Молчанов Д.А. Самоорганизующиеся сети и проблемы их построения. //Электросвязь. – 2006.- №6
- 9) Smaragdakis G. SEP: A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks / G. Smaragdakis, I. Matta, A Bestavros // in: Second International Workshop on Sensor and Actor Network Protocols and Applications (SANPA 2004), 2004.
- 10) Беркман Л. Н. Архітектурна концепція побудови, принцип реалізації, ефективність застосування інтелектуальної телекомунікаційної мережі / Л. Н. Беркман, С. В. Толюпа // Зб. наук. праць ВІТІ НТУУ —КПІІ. – 2007. – №3. – С. 9-17

- 11) Курпатов Р.О., Исследование и разработка энергоэффективного метода локализации элементов беспроводных сенсорных сетей [Текст]/ Р.О. Курпатов // Атореф. диссертации на соиск. ученой степени к.т.н. – М. – 2011. – 23 с
- 12) Lee W. L., Datta A. Network Management in Wireless Sensor Networks // Handbook of Mobile Ad Hoc and Pervasive Communications, American Scientific Publishers, 2006.
- 13) R. Rai and P. Rai. "Survey on Energy-Efficient Routing Protocols in WSN Using Game Theory," *Advances in Communication, Cloud, and Big Data*, vol. 31, pp.1-9, 2019.
- 14) I. Daanoun, A. Baghdad, and A. Ballloul, "A comparative study between ACO-based protocols and PSO-based protocols in WSN," *7th Mediterranean Congress of Telecommunications*, pp. 1-4, 2019.
- 15) S. Shanthi, P. Nayak, and S. Dandu, "Minimization of Energy Consumption in WSN by Using a Special Mobile Agent," *Immunological Tolerance*, vol. 1899, pp. 359-368, 2019.
- 16) S. Smys, R. Bestak, J.I.Z. Chen, and I. Kotuliak, "Inter. Conference on Computer Networks and Communication Technologies," *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2019.
- 17) Chunyao Fu, Zhifang Jiang, Wei Wei, and Ang Wei, "An Energy Balanced Algorithm of LEACH Proto- col," *WSN*, vol. 10, no. 1, 2013.
- 18) Seddiki Nouredine, Benahmed Khelifa, and Belgachi Mohammed, "Approach to minimizing consumption of energy in wireless sensor networks," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 10, no. 3, 2020.
- 19) Xuxun Liu, "A Survey on Clustering Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," *Sensors*, vol. 12, no. 8, pp. 11113–11153, 2012.
- 20) W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," *33rd Annual Hawaii Inter. Conf. on System Sciences*, vol. 1, 2000.

- 21) Ravi Kishore Kodali and Naveen Kumar Aravapalli, "Multi-level LEACH protocol model using NS-3," *IEEE International Advance Computing Conference*, pp. 375-380, 2014.
- 22) Emad Alnawafa and Ion Marghescu, "New Energy Efficient Multi-Hop Routing Techniques for Wireless Sensor Networks: Static and Dynamic Techniques," *Sensors*, vol. 18, no. 6, 2018.
- 23) J. H. B. Neto, A. R. Cardoso, and J. Celestino Jr, "MH-LEACH: A Distributed Algorithm for Multi-Hop Communication," *Wireless Sensor Networks*, vol. 2014, pp. 55-61, 2014.
- 24) Emad A. and Ion M, "MHT: Multi-hop technique for the improvement of leach protocol," *15th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research*, pp. 1-5, 2016.
- 25) A. El Aalaoui and A. Hajraoui, "Energy efficiency of organized cluster election method in wireless sensor networks," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 18, no. 1, 2020.